

**QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ELMURODOV NURIDDIN SAYITMURODOVICH

**SUZISH BASSEYNLARIDA SUVNI GELIOTERMIK QIZDIRISH
TIZIMINI ISHLAB CHIQISH**

05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Qarshi – 2025

UDK: 662.997.715.1

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) of technical
sciences**

Elmurodov Nuriddin Sayitmurodovich

Suzish basseynlarida suvni geliotermik qizdirish tizimini ishlab chiqish.....3

Элмуродов Нуриддин Сайитмуродович

Разработка гелиотермической системы подогрева воды в плавательных
бассейнах.....25

Elmurodov Nuriddin Sayitmurodovich

Development of a solar thermal system for heating water in swimming pools...49

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ

List of published works.....53

**QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ELMURODOV NURIDDIN SAYITMURODOVICH

**SUZISH BASSEYNLARIDA SUVNI GELIOTERMİK QIZDIRISH
TIZIMINI ISHLAB CHIQISH**

05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Qarshi – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.2.PhD/T4701 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya ishi Qarshi davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezюме)) ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.kstu.uz) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Uzoqov G'ulom Norboyevich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Axatov Jasurjon Sayidovich
texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim

Toyirov Zuvur
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Samarqand davlat arxitektura-qurilish universiteti

Dissertatsiya himoyasi Qarshi davlat texnika universiteti huzuridagi PhC:03/30.09.2020.T.111.03 raqamli ilmiy kengashning 2025 yil 23 - 08 soat 16⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 180100, Qarshi shahri, Mustaqillik ko'chasi, 225-uy. Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti konferensiyalar zali. Tel.: (+99875) 224-02-89, faks: (8375) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz).

Dissertatsiya bilan Qarshi davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (~~№147~~ raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 180100, Qarshi shahri, Mustaqillik ko'chasi, 225-uy. Tel.: (+99875) 224-02-89, faks: (8375) 224-13-95 e-mail: kstu@kstu.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil 07 - 08 kuni tarqatildi.
(2025 yil 07 - 08 dagi № 32 raqamli registr beryomonasi).



B. Urishev

ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi v.v.b. texnika fanlari doktori, professor

X.A. Davlonov

ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash kotibi, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

B.E. Nayriddinov

ilmiy kengash huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda binolarni issiqlik bilan ta'minlashda tabiiy energiya resurslarini tejashga hamda zamonaviy texnologiyalarning eng so'nggi yutuqlari asosida qayta tiklanadigan va muqobil energiya manbalariga o'tish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi vaqtda dunyo bo'yicha energiya iste'molining 30 – 40 foiz qismi binolarning energiya iste'moli uchun sarf bo'ladi¹. Jahonning rivojlangan mamlakatlarida issiqlik nasoslari binolarni isitishning asosiy texnik vositalariga aylanmoqda. Xalqaro energetika agentligi ma'lumotlariga ko'ra, 2030 yilga qadar Yevropa ittifoqi mamlakatlarida issiqlik nasosining issiqlik ta'minoti tizimida qo'llanilish ulushi 32 foizdan 79 foizgacha ko'tarilishi rejalashtirilgan. Yerdagi va quyosh hovuzidagi past haroratli issiqlikda ishlaydigan issiqlik nasoslarining issiqlik quvvati hozirda 15 GVt dan oshdi². Bu yo'nalishda issiqlik nasoslari uchun yil davomida past darajadagi issiqlikning ishonchli manbasini, xususan, quyosh hovuzlarini ishlab chiqish bo'yicha ilmiy izlanishlarga katta etibor qaratilmoqda.

Jahonda past haroratli issiqlik manbasida ishlaydigan bug' kompressorli issiqlik nasoslaridan binolarning issiqlik ta'minotida foydalanish, xususan, suzish basseynlari binolarining energiya samaradorligini oshirishda quyosh energiyasi akkumulyatsiyasi asosidagi kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qurilmalarni ishlab chiqishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, quyosh hovuzining energiya yig'ish va unga o'rnatilgan issiqlik almashinish qurilmasi orqali issiqlik almashinuv jarayonlarini tadqiqot qilish, kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli isitish tizimlarining issiqlik-texnik parametrlarini optimallashtirish, harorat rejimlarini tadqiqot qilish, suzish basseynlarining suvini isitish uchun foydalanilayotgan issiqlik nasosli qurilmalarning ish samaradorligini oshirishda quyosh hovuzlari va unga o'rnatilgan quyosh reflektorlaridan foydalanish bo'yicha olib borilayotgan ilmiy izlanishlar ustuvor hisoblanadi. Shu qatorda quyosh energiyasini quyosh hovuzi qurilmalarida maksimal akkumulyatsiyalash va kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli isitish tizimini ishlab chiqish hamda ularning issiqlik-texnik parametrlarini ilmiy asoslash dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda issiqlik nasoslari va quyosh qurilmalari asosidagi "yashil texnologiya"larni ishlab chiqish hamda ularni amaliyotga joriy etish bo'yicha keng ko'lamli chora tadbirlar amalga oshirilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 2 dekabrda "2030-yilgacha O'zbekiston Respublikasining yashil iqtisodiyotga o'tishiga qaratilgan islohotlar samaradorligini oshirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida"gi PQ-436-sonli qarorida "... O'zbekiston Respublikasining "yashil" iqtisodiyotga o'tish strategiyasi borasida amalga oshirilayotgan chora-tadbirlar samaradorligini oshirish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish hamda

¹Energy consumption of buildings| https://climateactionaccelerator.org/solution-areas/energy_consumption_of_buildings

² <https://econet.ru/articles/148891-teplovye-nasosy-statistika-ispolzovaniya-v-evrope-i-mire>

iqtisodiyotning barcha tarmoqlarida resurslarni tejashni yanada kengaytirish...³ bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda quyosh energiyasi asosidagi kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimini ishlab chiqish va suzish basseynlari isitish tizimlariga joriy etish dolzarb ilmiy-texnik masalalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019 yil 22 avgustdagi PQ-4422-son "Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to'g'risida"gi, 2019 yil 4 oktabrdagi PQ-4477-son "2019-2030-yillar davrida O'zbekiston Respublikasining "yashil" iqtisodiyotga o'tish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi, 2022 yil 2 dekabrda PQ-436-son "2030-yilgacha O'zbekiston Respublikasining yashil iqtisodiyotga o'tishiga qaratilgan islohotlar samaradorligini oshirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida"gi qarorlarida hamda shu soha doirasida qabul qilingan boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda nazarda tutilgan vazifalarni bajarishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo'yicha tadqiqotlar fan va texnologiyalar rivojlanishining IV "Qayta tiklanuvchan energiya manbalaridan foydalanish usullarini rivojlantirish, nanotexnologiyalar, fotonika va boshqa zamonaviy ilg'or texnologiyalar asosida qurilmalar va texnologiyalarni yaratish" ustuvor yo'nalishiga mos keladi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Quyosh energiyasini akkumulyatsiyalash hamda issiqlikka aylantirishning innovatsion texnologiyalari va undan suzish basseynlarini qizdirishda foydalanishga dunyoning bir qator ilmiy markazlarida, jumladan, AQSH, Ispaniya, Germaniya, Hindiston, Avstraliya, Gretsiya va boshqa davlatlarida katta e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda suzish basseynlari binolarini issiqlik bilan ta'minlash tizimlarida kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimlarini qo'llash, ushbu tizimning energiya samaradorligini oshirish va samarali quyosh qurilmalarini yaratish hamda energiya va resurs tejamkor issiqlik rejimlarini tadqiq etish borasida G.N. Tiwari (Hindiston), A.H. Tarrad (Iroq), S.B. Sharma (Hindiston), M.M. Shah (Pokiston), R. Mahmoudi (Iron), J.C. Lam (Xitoy), W.W. Chan (Xitoy), V.A. Butuzov (Rossiya), K.M. Bataineh (Iordaniya), G.B. Osadchiy (Rassiya), J.T. Czarnecki (AQSH) va boshqalar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan.

O'zbekistonda binolarni issiqlik bilan ta'minlashda quyosh energiyasidan samarali foydalanish hamda energiya tejamkor, quyosh qurilmalarini yaratish va takomillashtirish bo'yicha tadqiqotlar R.A.Zaxidov, R.R.Avezov, A.B. Vardiyashvili, Sh.I. Klichev, A. Abduraxmonov, N.R. Avezova, B.E. Xayriddinov, G.N.Uzoqov, A.I.Anarbayev va boshqalar tomonidan bajarilgan. Lekin, yopiq

³ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 2-dekabrda "2030-yilgacha O'zbekiston Respublikasining yashil iqtisodiyotga o'tishiga qaratilgan islohotlar samaradorligini oshirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida"gi PF-436-sonli Qarori

suzish basseynlarining suvini qizdirish tizimida quyosh hovuzi va issiqlik nasosli qurilmalarni ishlab chiqish borasida tadqiqotlar yetarlicha olib borilmagan. Shu sababli kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimlaridan suzish basseynlarini isitishda foydalanish, hamda basseynning issiqlik va energetik samaradorligini oshirish muhim vazifa hisoblanadi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Qarshi davlat texnika universitetining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq IL-4821091659-“Hudud iqlimining meteorologik xususiyatlarini hisobga olgan holda gibrid issiqlik ta'minoti tizimlarining ilmiy-texnik asoslarini ishlab chiqish” mavzusidagi fundamental loyiha (2023-2024 y.y.) doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi quyosh hovuzi va issiqlik nasosli qurilmalar asosida suzish basseynlarining suvini qizdirish tizimini ishlab chiqish va issiqlik-energetik parametrlarini asoslashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

suzish basseynlari suvini isitish uchun kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimi sxemasini ishlab chiqish;

quyosh hovuzi qurilmasining issiqlik balansini modellashtirish va hisoblash;

kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimli suzish basseynlarining harorat rejimi va issiqlik balansini tadqiq qilish;

kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimining issiqlik-texnik parametrlarini asoslash;

kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qurilmaning energetik va texnik-iqtisodiy samaradorlik ko'rsatkichlarini aniqlash.

Tadqiqotning obykti sifatida suzish basseynlarining kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimi olingan.

Tadqiqotning predmeti quyosh energiyasidan issiqlik olish uchun quyosh hovuzi qurilmasi, bug' kompressorli issiqlik nasosi, suzish basseynlarining energiya balansi va issiqlik almashinuv jarayonlarini tadqiq qilishdan iborat.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida quyosh nurlanish energiyasini akkumulyatsiyalash va issiqlikka aylantirish jarayonlarini tajribaviy tadqiqot qilish, issiqlik texnikasining nazariy asoslari, matematik modellashtirish, eksperimental tadqiqot usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

ilk marotaba suzish basseynlari suvini isitish uchun quyosh hovuzi va issiqlik nasosini kombinatsiyalashtirish asosida quyosh nurlanish energiyasi, quyosh hovuzi va issiqlik nasosi kondensatorining issiqlik tashlamalaridan bir vaqtda foydalanish imkonini beradigan suzish basseynining suvini geliotermik qizdirish tizimi ishlab chiqilgan (FAP №2504);

suv sirtiga tushadigan quyosh nurlanish energiyasini akkumulyatsiyalovchi va issiqlik energiyasiga aylantiruvchi hamda yassi quyosh reflektorlari bilan takomillashtirilgan past potentsialli quyosh hovuzi qurilmasi ishlab chiqilgan;

quyosh hovuzi harorat rejimining quyosh radiatsiyasi, atrof-muhit harorati, eritma konsentratsiyasi va hovuzning konstruksiyasi hamda geometrik o'lchamlariga bog'liqligini hisoblash imkonini beradigan quyosh hovuzi issiqlik balansi tenglamalari asosida matematik modeli ishlab chiqilgan;

suzish basseyni suvini isitish uchun zarur energiya iste'moli va issiqlik yo'qotishlarini hisobga olib qizdirish tizimining energiya balansi tenglamalari asosida basseyn suvining kombinatsiyalashgan qizdirish tizimidan chiquvchi haroratining suv sarfi o'zgarishiga bog'liqligini aniqlash imkonini beradigan empirik bog'liqliklar olingan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

quyosh nurlanish energiyasi, issiqlik almashinish qurilmasi va ma'lum konentratsiyadagi eritma asosida issiqlik energiyasi olish geliotexnologiyasi ishlab chiqilgan.

kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qurilmalar asosida suzish basseynlarining ehtiyoji uchun zarur haroratdagi suv bilan ta'minlash tizimi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi matematik modellashtirish hamda tajribaviy tadqiqot usullaridan foydalangan holda amalga oshirilganligi, issiqlik-texnik tajribalarni o'tkazish va tajriba natijalariga ishlov berishda umum e'tirof etilgan usullari qo'llanilganligi hamda nazariy va tajriba natijalarining o'zaro mos kelishi bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati suzish basseynlari suvini isitishda quyosh hovuzi energiyasi va issiqlik nasosidan foydalanish, quyosh hovuzining issiqlik rejimlari, suzish basseynining issiqlik yo'qotishlari, basseynning solishtirma energiya sarfini kamaytiruvchi omillarni hisobga olgan holda basseyn suvini energiya tejamkor isitish rejimlari va ularni hisoblash imkonini beradigan issiqlik balansining matematik modeli, issiqlik balansi tenglamalari hamda issiqlik-texnik parametrlarini hisoblash dasturi yaratilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati quyosh hovuzi va issiqlik nasosi qurilmasidan foydalanib suzish basseyni suvini isitishning energiya tejamkor kombinatsiyalashgan qizdirish tizimini ishlab chiqishdan iborat bo'lib, ishlab chiqilgan kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimi suzish basseynining solishtirma energiya sarfini kamaytirishga imkon berishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Suzish basseynlarida suvni geliotermik qizdirish tizimini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

suzish basseyni kompleksining isitish tizimi uchun O'zbekiston Respublikasi Intelektual mulk agentligidan foydali modelga patent olingan (№ FAP №2504; 2023 yil). Natijada, suzish basseyni suvini isitish uchun quyosh energiyasini quyosh hovuzi qurilmasida akkumulyatsiya qilish asosida ishlaydigan kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli isitish tizimi ishlab chiqilgan;

basseyn suvini quyosh energiyasi asosida qizdiradigan kombinatsiyalashgan quyosh hovuzli-issiqlik nasosli qizdirish tizimi Qarshi shahridagi suv sporti turlariga ixtisoslashtirilgan bolalar va o'smirlar sport maktabiga qarashli suzish basseyniga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2024 yil 18 noyabrdagi № 06/12108 sonli ma'lumotnomasi). Natijada, suzish basseynini quyosh hovuzi-issiqlik nasosli kombinatsiyalashgan qurilma yordamida isitish natijasida, ananviy elektr isitish tizimli suzish basseynlariga nisbatan isitish mavsumi davomida yillik 114638 kVt*soat elektr energiyasini iqtisod qilinishiga erishilgan. Ananviy tabiiy gaz qozonli isitish tizimi bilan taqqoslaganda 20347 m³ tabiiy gazni tejab qolishga va atmosferaga 37,6 tonna karbonat angidrid gazi chiqishining oldini olishga erishilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 4 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dessertatsiya mavzusi bo'yicha jami 24 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan O'zbekiston Respublikasi oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya qilingan 2 ta xalqaro va 6 ta respublika jurnallarida ilmiy maqolalar nashr qilingan. O'zbekiston Respublikasi intellektual mulk markazining 1 ta foydali modeliga patent hamda 2 ta EHM dasturiy mahsulot uchun mualliflik guvohnomasi olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan, tadqiqot ob'ekti va predmeti tavsiflangan hamda respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi aniqlangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy qilinishi, ishning aprobatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Suzish basseynlarida suvni qizdirish tizimlarining zamonaviy holati tahlili”** deb nomlangan birinchi bobida jahonda suzish basseynlarini isitish uchun muqobil energiya manbalaridan foydalanishning zamonaviy holati tahlili, basseyn suvini isitishda muqobil energiya manbalaridan foydalanish usullari, suzish basseynlari suvini isitishda energiya samaradorligi yuqori kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qurilmani qo'llash va ularning optimal parametrlarini aniqlash bo'yicha olib borilgan ishlar hamda suzish basseynlari suvini isitish qurilmalarining zamonaviy konstruksiyalari tahlili keltirilgan.

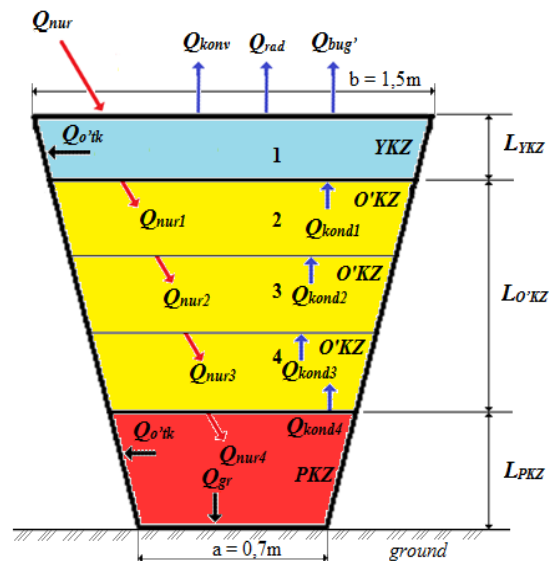
Olib borilgan tajribaviy va ilmiy tadqiqotlarning asosi shuni ko'rsatadiki, quyosh issiqlik energiyasini yig'adigan quyosh hovuzi qurilmasini ishlab chiqish

hamda uning past haroratli issiqligi asosida ishlaydigan issiqlik nasosi qurilmasining issiqlik-texnik parametrlarini asoslash, suzish basseynlari suvini isitishda an'anaviy energiya resurlaridan foydalanishni kamaytirish, kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qurilmalardan foydalanib suzish basseynlarini yil davomida ekologik toza energiya bilan ta'minlash masalalari yetarlicha tadqiqot qilinmagan. Suzish basseynlari suvini isitish tizimlarida quyosh hovuzi energiyasi asosidagi issiqlik nasoslaridan foydalanib basseynning energiya samaradorligini oshirish, ushbu isitish tizimini suzish basseynlariga joriy etish bo'yicha texnologik yechimlarni ishlab chiqish, kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qurilmasining iqtisodiy samaradorligini asoslash bo'yicha yetarlicha tadqiqot ishlari olib borilmagan. Mavjud quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qurilmalarda o'tkazilgan tadqiqotlar va tahlillar asosida tadqiqotning maqsad va vazifalari shakllantirildi.

Dissertatsiyaning **“Quyosh hovuzi qurilmasining issiqlik rejimini tadqiq qilish”** deb nomlangan ikkinchi bobida quyosh hovuzi qurilmasida olib borilgan tajriba tadqiqot natijalari keltirilgan. Suzish basseynlarini issiqlik bilan ta'minlash hamda qizdirish tizimini takomillashtirish va yoqilg'i energiya sarfini kamaytirish maqsadida tajriba quyosh hovuzi qurilmasi ishlab chiqildi (1, 2-rasmlar).

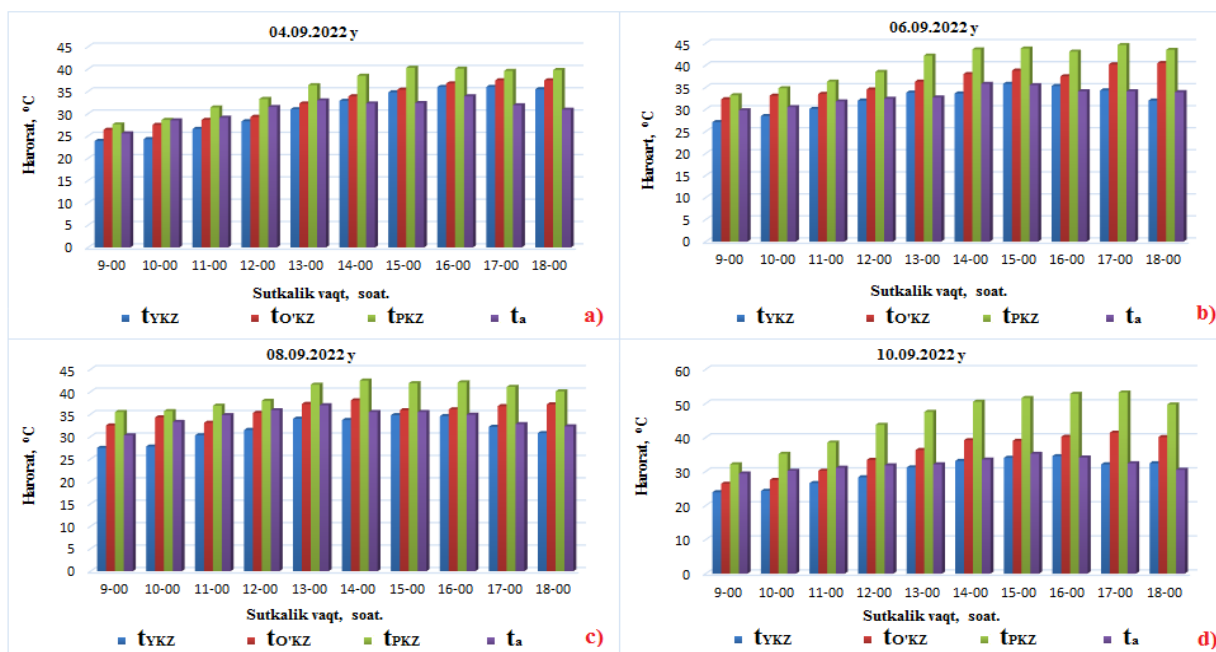


1-rasm. Eksperimental quyosh hovuzi qurilmasi



2-rasm. Quyosh hovuzining issiqlik balansi hisob sxemasi

Quyosh energiyasini akumulatsiya qilish jarayonini tadqiqot qilish uchun Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, “Muqobil energiya manbalari” ilmiy tadqiqotlar poligonida tajriba quyosh hovuzi qurilmasi qurildi va undan issiqlik olish imkoniyatlarini baholash maqsadida issiq sho‘r suvning turli konsentratsiyalarida tajriba sinov jarayonlari o‘tkazildi (3-rasm).



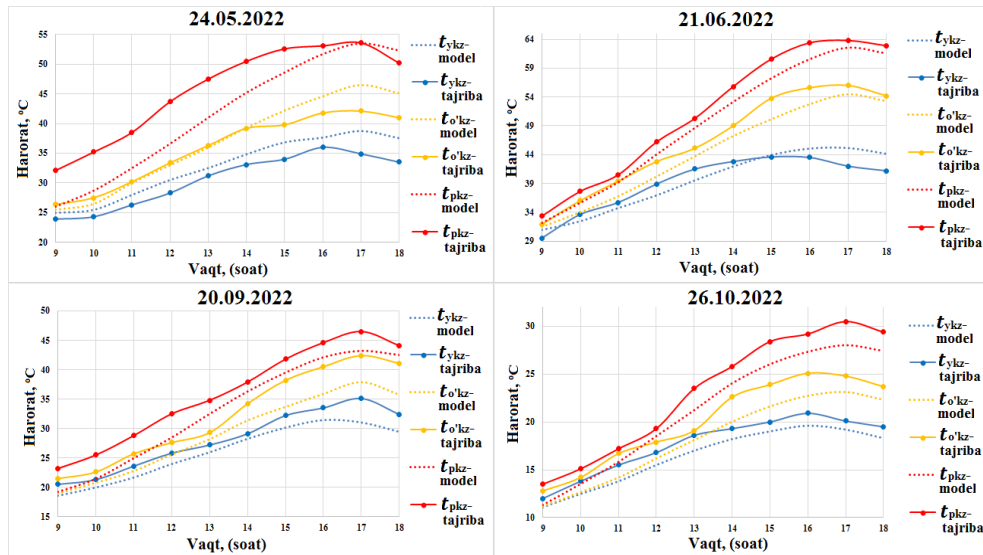
3-rasm. Quyosh hovuzi qatlamlari haroratlarining vaqtga bog‘liqligi diagrammalari
(a-sho‘r suv 10% li konsentratsiyasida; b- sho‘r suv 15% li konsentratsiyasida; c- sho‘r suv 20 % li konsentratsiyasida; d- sho‘r suv 25% li konsentratsiyasida;)

Quyosh hovuzi zonalarida issiqlik yutilish va issiqlik yo‘qotilish qiymatlari 2-rasmda qisqacha tasvirlangan. Quyosh hovuzi zonalarining issiqlik balansi tenglamasini matematik tarzda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\begin{cases} Q_{YKZ} = Q_{nur1} + Q_{kond1} - Q_{um} - Q_{o'tk_{y kz}} \\ Q_{O'KZ} = Q_{nur2} + Q_{kond3} - Q_{kond1} - Q_{o'tk_{o' kz}} \\ Q_{PKZ} = Q_{nur3} - Q_{kond3} - Q_{o'tk_{pkz}} - Q_{gr} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \rho_s C_s V_{y kz} \frac{dt_{y kz}}{d\tau} = \alpha \tau F_{y kz} q_{nur} + \frac{\lambda \cdot F_{o' kz}}{L_{y kz}} (t_{o' kz} - t_{y kz}) - (\alpha_{kon} + \alpha_{nur}) F_{y kz} \cdot (t_{y kz} + t_a) - \frac{F_{dev_{y kz}}}{R} (t_{y kz} - t_a) \\ \rho_s C_s V_{o' kz} \frac{dt_{o' kz}}{d\tau} = \alpha \tau F_{o' kz} q_{nur} + \frac{\lambda \cdot F_{pkz}}{L_{o' kz}} (t_{pkz} - t_{o' kz}) - \frac{\lambda \cdot F_{o' kz}}{L_{y kz}} (t_{o' kz} - t_{y kz}) - \frac{F_{dev_{o' kz}}}{R} (t_{o' kz} - t_a) \\ \rho_s C_s V_{pkz} \frac{dt_{pkz}}{d\tau} = \alpha \tau F_{pkz} q_{nur} - \frac{\lambda \cdot F_{pkz}}{L_{y kz}} (t_{pkz} - t_{o' kz}) - \frac{F_{dev_{pkz}}}{R} (t_{pkz} - t_a) - \frac{F_{asos}}{R} (t_{pkz} - t_{gr}) \end{cases} \quad (2)$$

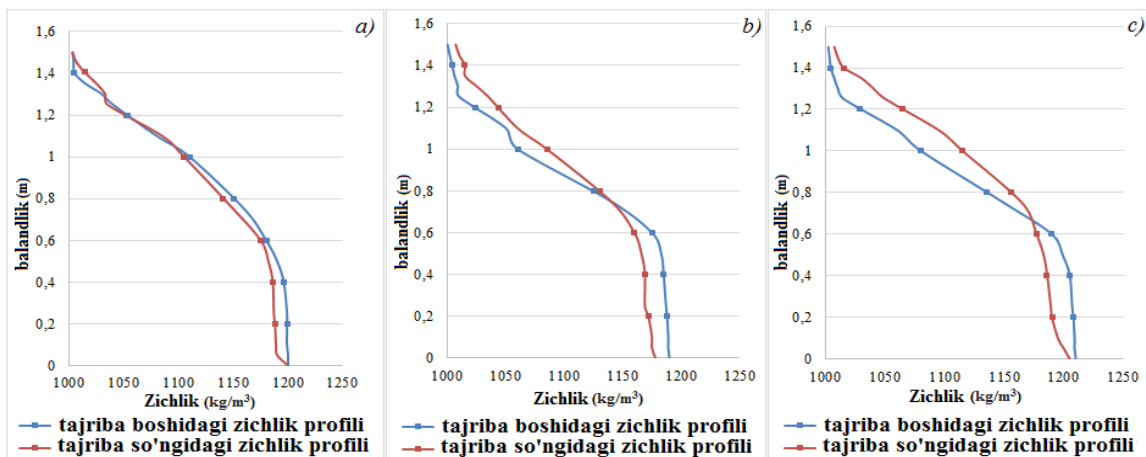
$$\begin{cases} \frac{dt_{y kz}}{d\tau} = - \left(\frac{\alpha_{kon} F_{y kz} + \alpha_{nur} F_{y kz} + \frac{F_{dev_{y kz}}}{R}}{\rho_s C_s V_{y kz}} \right) t_{y kz} + \frac{\alpha_{kon} F_{y kz} + \alpha_{nur} F_{y kz}}{\rho_s C_s V_{y kz}} t_a + \frac{\alpha \tau F_{y kz} q_{nur}}{\rho_s C_s V_{y kz}} + \frac{5,4 \lambda F_{o' kz}}{\rho_s C_s V_{y kz} L_{y kz}} \\ \frac{dt_{o' kz}}{d\tau} = - \frac{F_{dev_{o' kz}}}{R \rho_s C_s V_{o' kz}} t_{o' kz} + \frac{F_{dev_{o' kz}}}{R \rho_s C_s V_{o' kz}} t_a + \frac{\alpha \tau F_{o' kz} q_{nur}}{\rho_s C_s V_{o' kz}} + \frac{11,57 \lambda \cdot F_{pkz}}{L_{y kz} \rho_s C_s V_{o' kz}} - \frac{5,4 \lambda \cdot F_{o' kz}}{L_{y kz} \rho_s C_s V_{o' kz}} \\ \frac{dt_{pkz}}{d\tau} = - \left(\frac{F_{dev_{pkz}} + F_{asos}}{R \rho_s C_s V_{pkz}} \right) t_{pkz} + \frac{F_{dev_{pkz}}}{R \rho_s C_s V_{pkz}} t_a + \frac{F_{asos}}{R \rho_s C_s V_{pkz}} t_{gr} + \frac{\alpha \tau F_{pkz} q_{nur}}{\rho_s C_s V_{pkz}} - \frac{11,57 \lambda \cdot F_{pkz}}{L_{o' kz} \rho_s C_s V_{pkz}} \end{cases} \quad (3)$$



6-rasm. Tajribada va modellash tirish asosida hisoblangan quyosh hovuzi haroratlarining vaqtga bogliq o'zgarish grafiklari

Tajriba va hisoblash natijalari orasidagi farqni taqqoslash, har oyda olib borilgan tadqiqot natijalari uchun o'tkazildi. Taqqoslash natijalariga ko'ra tajriba va hisoblash natijalari orasidagi o'rtacha farq yuqori konvektiv zona (YKZ) uchun 10,34% ni, o'rta konvektiv bo'lmagan zona (O'KZ) uchun 10,01% ni va pastki konvektiv zona (PKZ) uchun 9,01% ni tashkil etadi.

Quyosh hovuzining issiqlik samaradorligiga turli tuzlarning ta'siri tadqiqot qilindi (7-rasm).

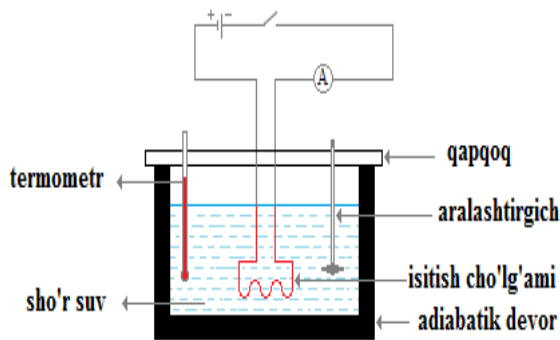


7-rasm. Sho'r suv zichligining quyosh hovuzi chuqurligi bo'yicha taqsimlanishi (a-NaCl tuzli eritma, b- KCl tuzli eritma, c- MgCl₂ tuzli eritma)

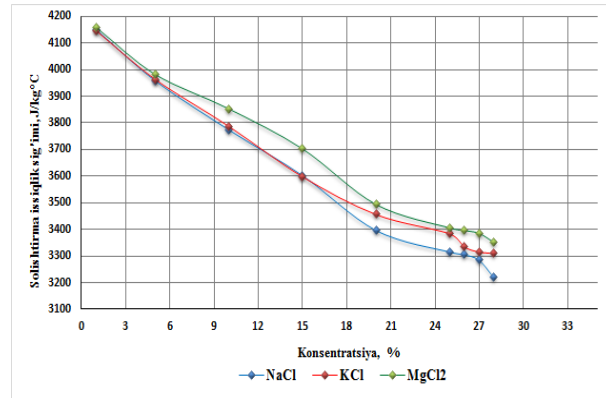
Tajribalar davomida quyosh hovuzida 3 ta natriy xlorid (NaCl), magniy xlorid (MgCl₂) va kaliy xlorid (KCl) tuzlaridan foydalanildi va ularning fizik xususiyatlari o'rganildi. Tajriba jarayonida har bir tuzli eritmaning zichlik darajasini hamda issiqlik sig'imini aniqlash maqsadida hovuz turli chuqurliklaridan namunalar olindi. Har bir tuz uchun tajriba boshi va so'ngida quyosh hovuzi har bir qatlamlarining zichlik profillari o'rganildi. Tajriba boshida pastki issiqlik saqlash zonasidagi eritmaning zichligi natriy xloridli (NaCl) eritmada 1200 kg/m³ ni, magniy xloridli (MgCl₂) eritmada 1210 kg/m³, kaliy xloridli (KCl) eritmada

1195 kg/m³ ni tashkil etdi. Yuqori zonada har bir tuz eritmasining zichligi 1002-1004 kg/m³ atrofida o'zgarishi va tajriba so'ngida 1007 kg/m³ gacha ko'tarilishi aniqlandi.

Tadqiqot jarayonlari davomida adiabatik kalorimetrik usul yordamida ushbu tuzli eritmalarining turli haroratlari va konsentratsiyalarida solishtirma issiqlik sig'implari aniqlandi (8-rasm).



8-rasm. Eksperimental adiabatik kalorimetr qurilmasi



9-rasm. Turli konsentratsiyalarda NaCl, KCl va MgCl₂ tuz eritmalarining solishtirma issiqlik sig'implarining o'zgarishi.

Olib borilgan tadqiqot ishlari 20°C-70°C harorat oralig'ida va sho'r suv konsentratsiyasining 5%-28% qiymatlarida o'tkazildi. 9-rasmda har bir tuzning eritmasida o'tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, harorat va sho'r suv konsentratsiyasining ortishi bilan eritmaning issiqlik sig'imi kamayib borishi aniqlandi.

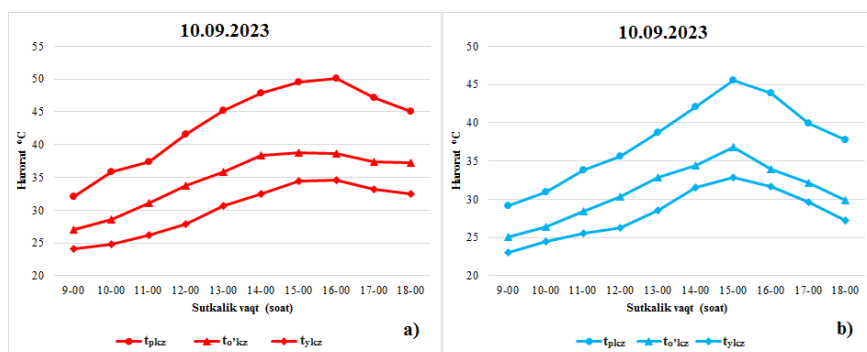
Dissertatsiya ishida quyosh reflektorlarining quyosh hovuzi issiqlik samaradorligiga ta'siri tadqiqot qilindi. Qarshi shahri sharoitida tajriba quyosh hovuzida, quyosh reflektorlaridan foydalanildi. Quyosh reflektorlari tajriba quyosh hovuzining 3 ta tomoniga joylashtirilgan bo'lib, o'lchamlari 1,5m va 0,5m ga teng. Reflektorlar vertikal o'qqa nisbatan 10⁰ va 150⁰ burchak ostida harakatlanadi.

Qarshi shahri sharoitida quyosh nurlarining quyosh reflektoridan qaytishi va quyosh hovuziga tushishi o'rganildi.

$$\alpha = \phi + \psi \quad (4)$$

bu yerda α -quyosh reflektorlaridan qaytgan quyosh nurlanish burchagi (qaytgan nurlanish burchagi), ϕ - quyosh nurlanishining balandlik burchagi va ψ - quyosh reflektorining nishablik burchagi.

Reflektorlardan foydalanilgandagi tajriba natijalari reflektorsiz holatdagi tajriba natijalariga nisbatan yuqoriroq ko'rsatkichni ko'rsatdi va quyosh hovuzi pastki zonasining maksimal harorati 52 °C gacha ko'tarildi (10-rasm).



10-rasm. Quyosh hovuzi zonalari haroratlarining o'zgarishi (a-reflektorli; b-reflektorsiz holat uchun o'lchov natijalari)

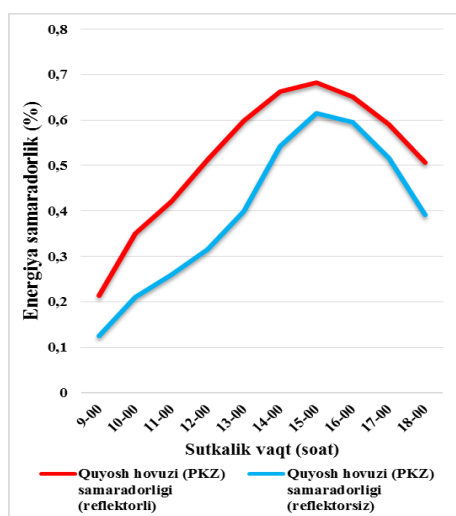
Tadqiqot ishlari davomida quyosh hovuzi harorat o'zgarishini hamda hovuzning reflektorsiz va reflektor bilan o'tkazilgan tajriba-o'lchov natijalari asosida sentabr oyi uchun o'rtacha energiya samaradorligi tahlil qilindi.

Pastki konvektiv zona uchun energiya samaradorligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\eta_{pkz} = \frac{Q_{nur_{pkz}} - Q_{o'tk_{pkz}} - Q_{asos} - Q_{kond3}}{Q_{nur_{pkz}}} \quad (5)$$

Bu yerda $Q_{nur_{pkz}}$ -PKZ ga yutiladigan quyosh nurlanish energiyasi, $Q_{o'tk_{pkz}}$ -PKZ yon devorlari orqali energiya yo'qotilishi, Q_{asos} -hovuz asosi orqali energiya yo'qotilishi, Q_{kond3} -PKZ dan O'KZ ga issiqlik o'tkazuvchanlik orqali issiqlik berilishi.

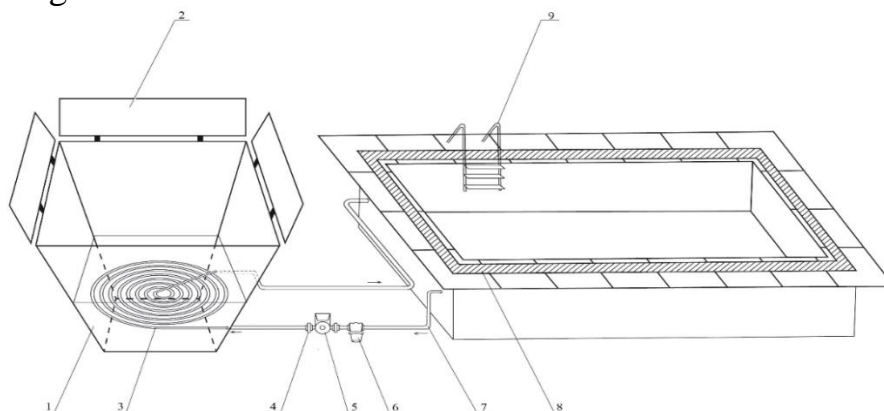
Ishlab chiqilgan matematik model tenglamalari asosida quyosh hovuzining PKZ uchun energiya samaradorligi hisoblandi. Quyosh reflektorlaridan foydalanilganda PKZ qatlamining energiya samaradorligi soat 15-00 da maksimal 68% gacha ko'tarildi. Reflektorsiz holatda esa 61% gacha ko'tarilganligi kuzatildi (11-rasm).



11-rasm. Quyosh hovuzi qurilmasining reflektorli va reflektorsiz holdagi energiya samaradorligining sutkalik o'zgarishi

Dissertatsiyaning “**Suzish basseynlari suvini geliotermik qizdirish tizimini ishlab chiqish va tadqiqot qilish**” deb nomlangan uchunchi bobida kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qurilmasida olib borilgan tajriba va nazariy tadqiqot natijalari keltirilgan. Tajriba bug‘ kompressorli issiqlik nasosi qurilmasida o‘tkazilgan tadqiqot natijalari asosida uning transformatsiya koeffitsiyenti aniqlandi. Ushbu tadqiqotlarni o‘tkazishdan maqsad kombinatsiyalashgan quyosh hovuzli-issiqlik nasosli qurilmasining energiya samaradorligini aniqlashdan iborat.

Tadqiqot ishida dastlab tajriba suzish basseyni uchun quyosh hovuzli qizdirish tizimining texnologik sxemasi ishlab chiqildi(12-rasm) hamda issiqlik texnik parametrlari o‘rganildi.



12-rasm. Suzish basseyni suvini quyosh hovuzi qurilmasi asosidagi qizdirish tizimi

1-quyosh hovuzi, 2-reflektor, 3-issiqlik almashinish qurilmasi (zmeyevik), 4-quvurlarni birlashtirish gaykasi, 5-sirkulyatsiya nasosi, 6-suv filtr, 7- quvur, 8- ortiqcha suvning oqish lotogi, 9- basseyn zinas

Quyosh hovuzli qizdirish tizimining $d\tau$ vaqt oralig‘ida F_k issiqlik almashinish qurilmasi yuzasi bo‘yicha issiqlik balansi tenglamasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi.

$$dQ = k_c \cdot F_k \cdot \Delta t \quad d\tau = G_c c_c (t_{chiq} - t_{kir}) d\tau = m_x \cdot c_x \cdot dt_x \quad (6)$$

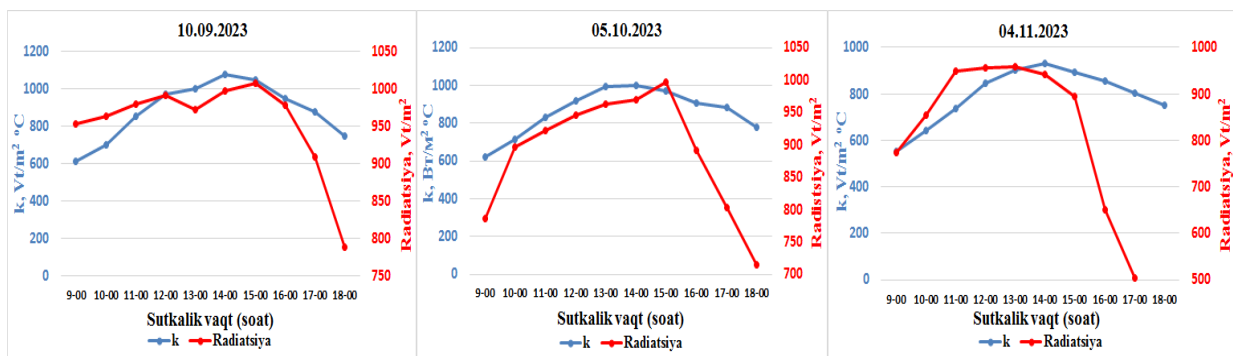
Δt haroratlar o‘zgarishining τ vaqtda o‘rtacha logarifmik qiymatini quyidagicha yozish mumkin.

$$\Delta t = \frac{t_{chiq} - t_{kir}}{\ln \frac{t_{pkz} - t_{kir}}{t_{pkz} - t_{chiq}}} \quad (7)$$

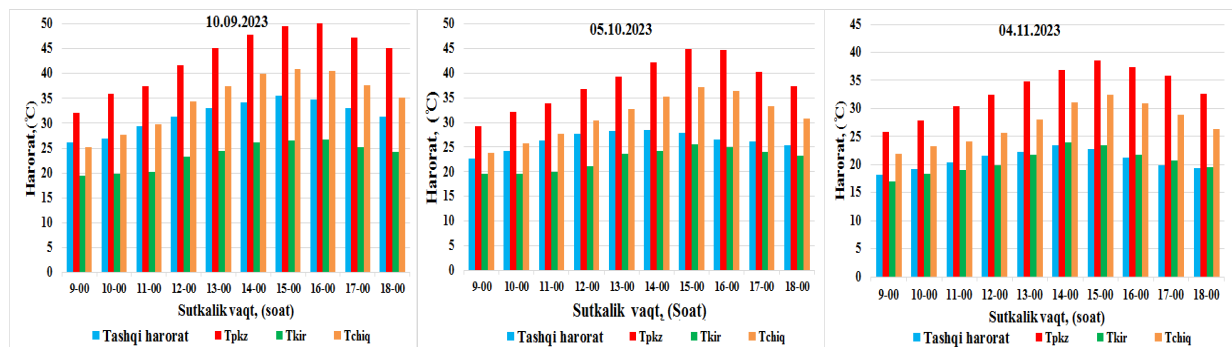
Quyosh hovuzi pastki issiqlik saqlash zonasi eritmasidan, issiqlik almashinish qurilmasiga issiqlik uzatish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$k_c = \frac{G \cdot c}{F} \ln \frac{t_{pkz} - t_{kir}}{t_{pkz} - t_{chiq}} \quad (8)$$

O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida 2023 yilning kuz oylari uchun atrof-muhit harorati, quyosh hovuzi pastki qatlam harorati, issiqlik tashuvchining kirish va chiqish haroratlari, quyosh hovuzining PKZda joylashgan issiqlik almashinish qurilmasiga hisoblangan issiqlik uzatish koeffitsiyentining vaqt bo‘yicha o‘rtacha o‘zgarish qiymatlari aniqlandi (13, 14-rasmlar).



13-rasm. Quyosh radiatsiyasi va issiqlik uzatish koefitsientini vaqt bo'yicha o'zgarish grafigi



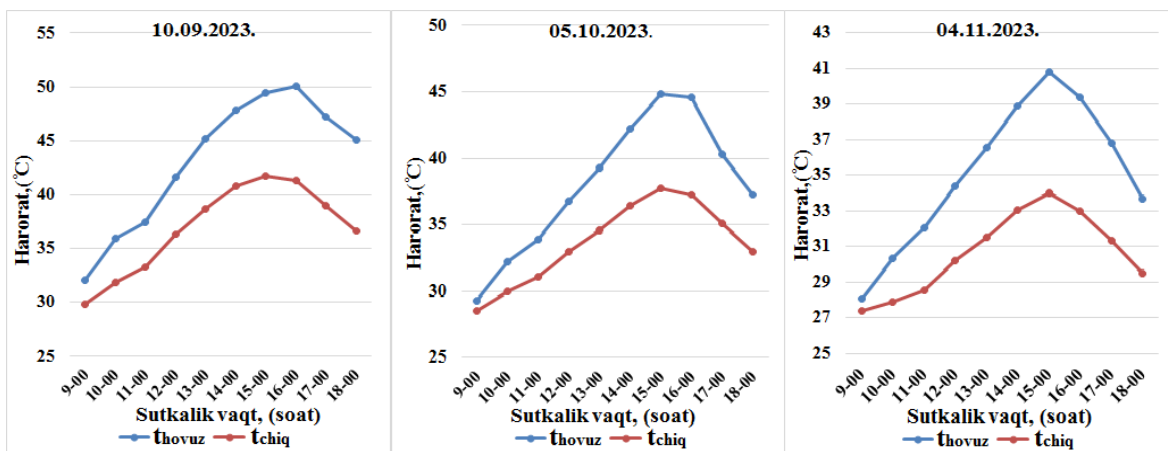
14-rasm. Atrof-muhit harorati, quyosh hovuzi pastki qatlam harorati, issiqlik tashuvchining kirish va chiqish haroratining vaqt bo'yicha o'zgarishi

Tadqiqotlar davomida (6) formuladan foydalanib quyosh hovuzidan chiquvchi suv harorati o'zgarishining emperik tenglamasi ishlab chiqildi.

$$k_c \cdot F \cdot \frac{t_{chiq} - t_{kir}}{\ln \frac{t_{pkz} - t_{kir}}{t_{pkz} - t_{chiq}}} = G_s c_s (t_{chiq} - t_{kir}) \quad (9)$$

$$t_{chiq} = t_{pkz} - (t_{pkz} - t_{kir}) e^{\frac{k_c F}{G_s c_s}} \quad (10)$$

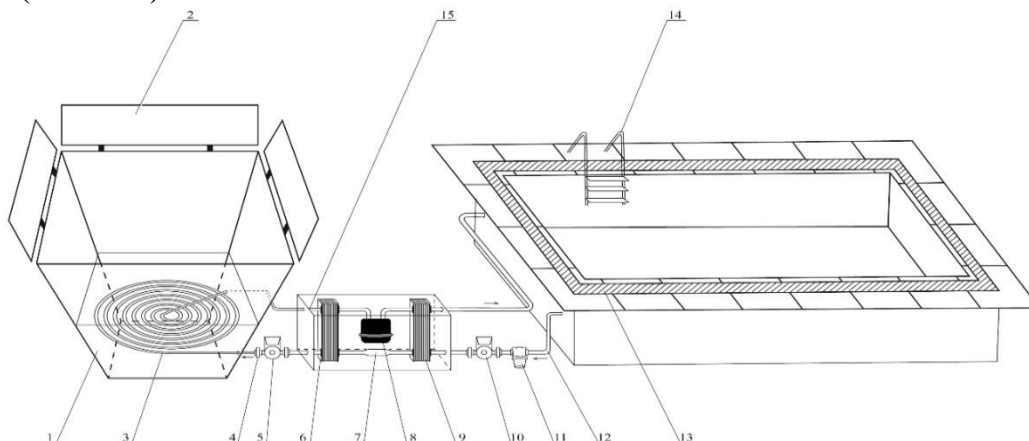
Atrof-muhit harorati va radiatsiya qiymatlarining soatlik o'zgarishiga muvofiq quyosh hovuzidan chiquvchi suv haroratining soatlik o'zgarishi aniqlandi (15-rasm).



15-rasm. Basseyndan quyosh hovuziga kiruvchi suvning harorati o'zgarimas 27 °C bo'lganda quyosh hovuzidan chiquvchi suv haroratining soatlik o'zgarishi

Tadqiqotlar jarayonida 2 m³ hajmdagi tajriba quyosh hovuzi hamda uning PKZ da joylashgan issiqlik almashinish qurilmasi yordamida Qarshi shahrining kuz mavsumi sharoitida 1 sutka davomida 5 m³ hajmga ega suzish basseynini talab etilgan haroratdagi issiq suv bilan ta'minlashi mumkinligi hisoblandi.

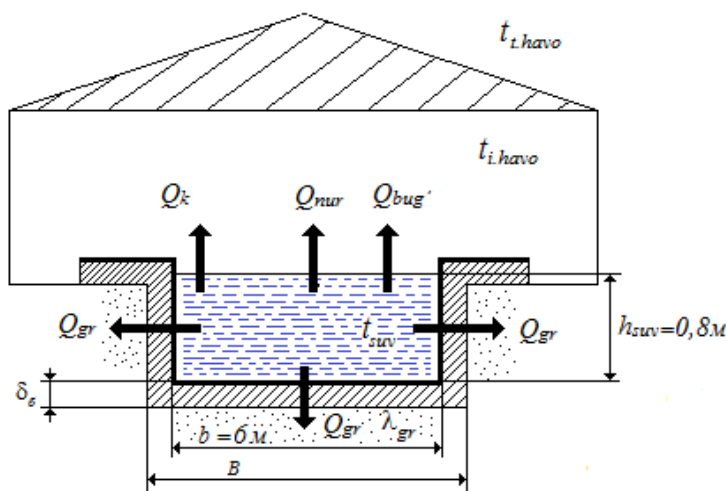
Suzish basseynlarida energiya resurslari sarfini kamaytirish hamda energetik samaradorlik ko'rsatkichlari oshirish maqsadida kombinatsiyalashgan quyosh hovuzli-issiqlik nasos qurilmali qizdirish tizimining texnologik sxemasi ishlab chiqildi (16-rasm).



16-rasm. Suzish basseynlarining “kombinatsiyalashgan quyosh hovuzli-issiqlik nasosli” qizdirish tizimi (FAP №2504)

1-quyosh hovuzi, 2-reflektor, 3-issiqlik almashinish qurilmasi, 4-quvurlarni birlashtirish gaykasi, 5,10 - sirkulyatsiya nasosi, 6-bug'latkich, 7-drossel, 8-kompressor, 9-kondensator, 11-suv filtr, 12-basseyn va issiqlik nasosini ulovchi quvuri, 13- ortiqcha suvning oqish latogi, 14- basseyn zinasi, 15- quyosh hovuzi va issiqlik nasosini ulovchi quvur.

Ushbu isitish tizimining samaradorligini aniqlash uchun suzish basseynining issiqlik balansini sxemasi (17-rasm) va issiqlik balansini hisoblash metodikasi ishlab chiqildi.



17-rasm. Yopiq binoda joylashgan basseynning issiqlik balansini sxemasi.

Keltirilgan hisob sxemasi basseyn suvi haroratini, basseyn va qizdirish tizimi issiqlik oqimlarini hisoblash imkonini beradi. Ushbu qizdirish sxemasi orqali quyidagi issiqlik balansini tenglamasi ko'rib chiqildi.

$$\rho_s C_s V_b \frac{dT_s}{dt} = \sum (Q_{is.t} - Q_{isr}) \quad (11)$$

Basseynning issiqlik isrofi balansi tenglamasi statsionar rejimda quyidagicha ko‘rinishda bo‘ladi:

$$Q_{isr} = Q_{bug'} + Q_{nur} + Q_{konv} + Q_{gr} + Q_{z.suv} \quad (12)$$

Basseyn suvi yuzasidan suvning bug‘lanish tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_{bug'} = \varepsilon \cdot F (P_{ib} - P_b) r = W \cdot r \quad (13)$$

Basseyn birlik yuza maydonidan konvektiv issiqlik yo‘qotilish oqimi Q_{konv} quyidagicha aniqlandi:

$$Q_{konv} = \alpha F (t_{suv} - t_{i.havo}) \quad (14)$$

Bunda konvektiv issiqlik almashinuv koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

$$\alpha = 2,8 + 3,0 w_{havo} \quad (15)$$

Yopiq suzish basseynlarida radiatsiyaviy yo‘qotishlar zalning devorlari bilan uzun to‘lqinli radiatsiya almashinuvi orqali issiqlik o‘tkazuvchanlik hisobga olinib quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_{nur} = F \cdot q_{nur} = F \varepsilon \sigma ((t_{suv} + 273)^4 - (t_{devor} + 273)^4) \quad (16)$$

Suzish basseynining pastki va yon tomonlaridan yerga konduktiv issiqlik o‘tkazuvchanligida kam miqdorda issiqlik yo‘qotiladi. Ushbu issiqlik yo‘qotilishi quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$Q_{gr} = K_b \cdot F_b (t_{suv} - t_{gr}) \quad (17)$$

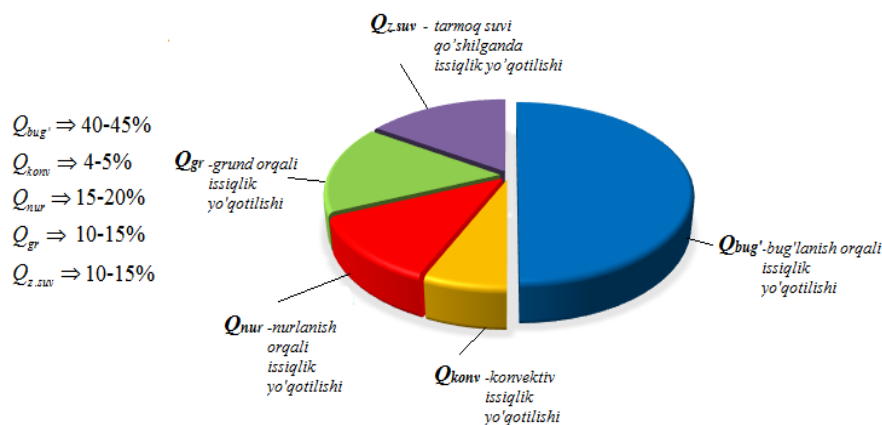
Umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyenti basseyn beton devorining issiqlik o‘tkazuvchanligiga, qalinligiga va basseyn devori uchun ishlatilgan izolyatsiya materialiga bog‘liq bo‘lib quyidagicha hisoblanadi.

$$K_b = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (18)$$

Basseyndagi suv isrofi doim zahira suv ta‘minoti bilan qoplanadi. Zahira suv ta‘minoti oqimi basseyn suvining bug‘lanishi hamda ruhsat etilgan kunlik minimal suv almashtirish asosida hisoblanadi. UNI standartiga ko‘ra almashtiriladigan suvning kunlik miqdori basseyn umumiy suv hajmining taxminan 2,5-5% ini tashkil qiladi. Toza suvning harorati basseyn suvi haroratidan pastligi natijasida issiqlik yo‘qotilishini quyidagi formuladan foydalanib hisoblash mumkin.

$$Q_{z.suv} = \frac{m \cdot R}{86400} 4186 (t_{suv} - t_{z.suv}) \quad (19)$$

Tadqiqot natijalari tahlili shuni ko‘rsatadiki, yopiq suzish basseynlarining issiqlik energiyasiga bo‘lgan ehtiyoji elektr energiyasi iste‘moliga nisbatan ancha yuqori bo‘lib, 4-5% issiqlik energiyasi basseynning konvektiv issiqlik almashinuvida yo‘qotiladi, 40-45% issiqlik energiyasi basseyn suvining bug‘lanishida, 15-20% issiqlik nurlanish orqali, 10-15% issiqlik energiyasi basseyn devorining issiqlik o‘tkazuvchanligi orqali issiqlik yo‘qolishiga, qolgan 10-15% issiqlik energiyasi basseynga zahira suv qo‘shilishi hisobiga to‘g‘ri keladi (18-rasm).



18-rasm. Yopiq suzish basseynlarining issiqlik yo‘qotishlari taqsimlanishi.

Qizdirish tizimi orqali basseynga beriladigan suvning haroratini aniqlashda, basseyn suvini talab etilgan haroratgacha qizdirishga ketadigan vaqt va basseyn suv sarfi muhim hisoblanadi. Ushbu qizdirish tizimining ish jarayonini bir sutka uchun hisoblab, basseyn suvini talab etilgan haroratgacha ko‘tarib olish uchun zarur bo‘lgan energiya miqdorini aniqlaymiz.

$$Q_{bas.suv} = \frac{m_{bas.suv} \cdot C_{suv} \cdot (t_{b.s.chiq} - t_{b.s.kir})}{\tau} \quad (20)$$

Basseynni qizdirishga ketadigan energiyani basseyn suvining massaviy sarfi va harorat o‘rgarishi orqali aniqlanadigan energiya tenglamasiga tenglashtirib basseyn suvining qizdirish tizimidan chiquvchi harorati aniqlandi. Basseynni qizdirishga ketadigan issiqlik energiyasi.

$$Q_{bas.sarf} = G_{suv} \cdot C(t_{b.s.chiq} - t_{b.s.kir}) \quad (21)$$

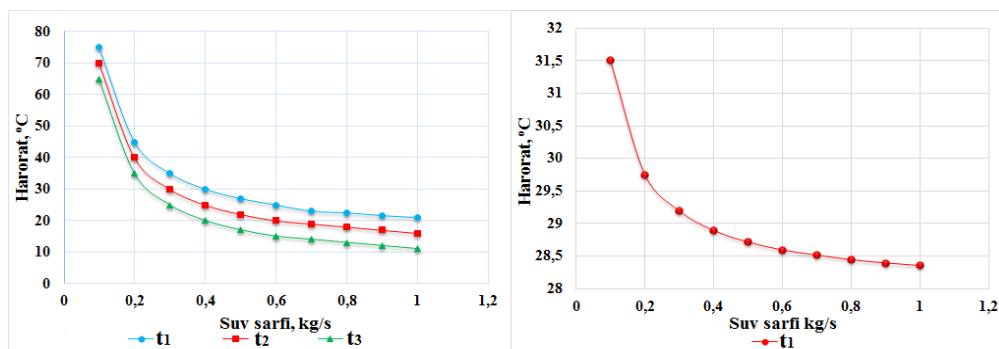
$$Q_{bas.sarf} = Q_{kond} \quad (22)$$

$$G_{suv} C(t_{b.s.chiq} - t_{b.s.kir}) = Q_{bug'} + N_{komp} \quad (23)$$

$$t_{b.s.chiq} = t_{b.s.kir} + \frac{Q_{bug'} + N_{komp}}{G_{suv} \cdot C} \quad (24)$$

Basseyn suvining turli t_1 , t_2 va t_3 boshlang‘ich haroratlarida qizdirish tizimidan chiquvchi suv haroratining suvning massaviy sarfiga bog‘liqlik grafigi keltirildi (19(a)-rasm). Tadqiqotlar davomida tajriba olib borilayotgan suzish basseynida issiqlik yo‘qotishlari $Q_{isr} = 1,94 \text{ kVt}$ tashkil etishi aniqlandi. Issiqlik isroflarini qoplash va basseynni belgilangan haroratda saqlab turish uchun

basseyndan chiqib qizdirish tizimiga kiruvchi suvning harorati 28 °C bo'lganda qizdirish tizimidan chiquvchi suvning haroratini, basseyn suv sarfiga bogliqlik grafigi keltirildi (19(b)-rasm).



19-rasm. Basseyn suvini belgilangan haroratgacha qizdirish uchun suv sarfining qizdirish tizimidan chiquvchi suv haroratiga bog'liqlik grafigi

Taklif etilgan qizdirish tizimida olib borilgan tadqiqot natijalariga ko'ra basseyn suvini talab etilgan haroratgacha qizdirishda basseyn suvining sarfi 0,2-0,4 kg/s bo'lishi optimal ekanligi aniqlandi. Shundan so'ng basseyinning talab etilgan haroratdagi suvini shu haroratda saqlab turish uchun suv sarfi 0,1-0,2 kg/s oraliqda o'zgarishi aniqlandi.

Kombinatsiyalashgan quyosh hovuzli-issiqlik nasosli qurilmada issiqlik nasosining ishlash samaradorligini aniqlash maqsadida bug' kompressorli issiqlik nasosining tajriba qurilmasi yaratildi (20-rasm) va issiqlik-energetik parametrlarini tadqiq qilindi.



20-rasm. Issiqlik nasosi eksperimental qurilmasining umumiy ko'rinishi

Tajriba qurilmasi vertikal stend 1 dan iborat bo'ib, stendda 4 ta bosim o'lchash manometri va 6 ta harorat o'lchash termometri mavjud. Issiqlik nasosi bloki yopiq germetik tizim bo'lib, kompressor 2, ikkita mis quvurli issiqlik almashtirigich, yani bug'latkich 3, kondensator 4, filtr quritgich 5, bosim o'lchash manometrlari 6, harorat termometrlari 7, mis quvurlar 8 va shuningdek ishga tushirish va himoya avtomatik uskunalari 9 o'z ichiga oladi.

Tajriba vaqtida kompressorning istemol qilgan elektr energiyasi miqdori aniqlandi:

$$N_{komp} = I \cdot U \cdot \tau \quad (25)$$

Issiqlik nasosi kondensatorida suvni isitish uchun sarflangan issiqlik energiyasi miqdori hisoblandi.

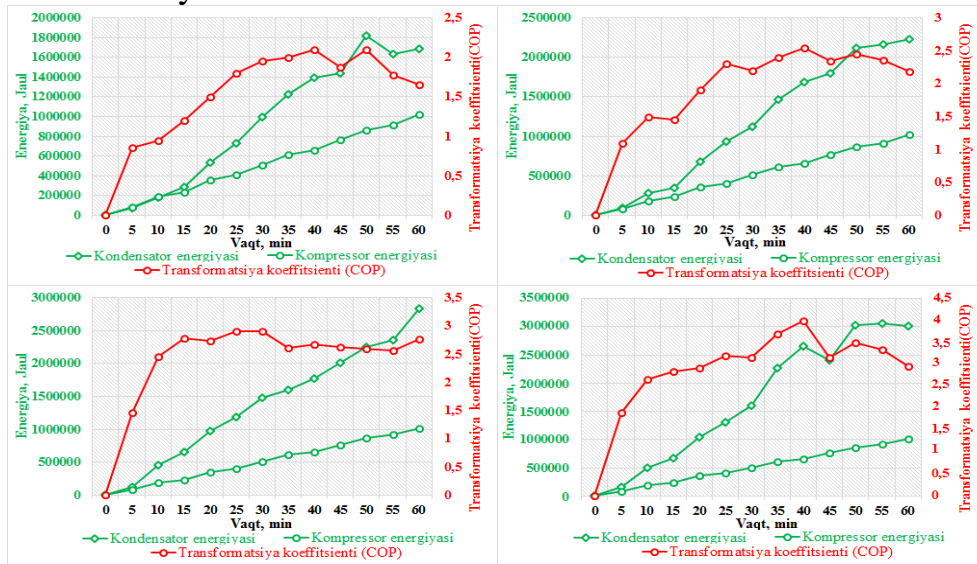
$$Q_{kon} = c \cdot m(t_{bosh} - t_{oxir}) \quad (26)$$

Qizdirish rejimida issiqlik nasosining ishlash samaradorligi (transformatsiya koeffitsiyenti) issiqlik nasosining isitish quvvati va kompressor quvvati o'rtasidagi nisbat orqali aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{Q_{kon}}{N_{komp}} \quad (27)$$

Tajriba jarayonlari kondensatoridagi suvning turli 5, 10, 15 va 20 boshlang'ich haroratlari uchun olib borildi. O'lchov natijalari asosida bug'-kompressorli issiqlik nasosi qurilmasining har bir tajriba jarayoni uchun issiqlik nasosi samaradorlik(transformatsiya koeffitsiyenti) koeffitsientlari aniqlandi(21-rasm).

Tajribalar davomida bug' kompressorli issiqlik nasosining transformatsiya koeffitsiyenti bug'latgich suvi 20 °C bo'lganda yuqori ko'rsatkichga yetdi va $\varphi = 4$ ga teng bo'lishi ilmiy asoslandi.



21-rasm. Eksperimetal BKIN qurilmasining energetik xarakteristikallari

Dissertatsiyaning “Suzish baseynlarida suvni qizdirishda quyosh hovuzi-issiqlik nasosli tizim qo'llanilishining energetik va texnik-iqtisodiy samaradorligini baholash” deb nomlangan to'rtinchi bobida qurilmaning energetik va texnik-iqtisodiy samaradorlik ko'rsatkichlari hisoblandi. Foydali hajmi 158,4 m³ bo'lgan namunaviy yopiq suzish basseynining kombinatsiyalashgan quyosh hovuzli-issiqlik nasosli isitish tizimining energetik samaradorligi aniqlandi. Ma'lumki suzish basseynlari isitish tizimlarining taqqoslanadigan muqobil variantlari bir-biridan kapital va ekspluatatsiya xarajatlari bilan farq qiladi. Tadqiqot ishida tavsiya qilingan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli isitish tizimining issiqlik texnik parametrlari hamda energetik samaradorligi gaz qozonli isitish tizimi va elektr isitish tizimi bilan qiyosiy tahlil qilindi.

Tahlil natijalariga ko'ra taklif etilayotgan kombinatsiyalashgan quyosh

hovuzli-issiqlik nasosli qizdirish tizimida basseynni isitish uchun yillik energiya iste'moli 35707 kVt ni, elektr isitish tizimida 150345 kVtni va gaz qozonli isitish tizimida basseynni isitish uchun yillik tabiiy gaz iste'moli 20347 m³ ni tashkil etishi aniqlandi.

Taklif etilayotgan qizdirish tizimi ishlatilganda tabiiy gaz yonishi hisobiga atmosferaga chiqishi oldi olinadigan CO₂ gazi miqdori 37,6 tonnani tashkil qiladi.

Quyosh hovuzi va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi tizimini Qarshi shahridagi suzish basseyniga joriy etishdagi iqtisodiy samaradorlik ko'rsatgichlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Quyosh hovuzi va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi tizimni iqtisodiy samaradorlik ko'rsatshichlari

№	Texnik-iqtisodiy parametrlar	Miqdori
1	Tizimning balans qiymati, (mln.so'm)	396,0
2	Bank meyoriy stavkasi, 2024 yil	14%
3	Inflyatsiya miqdori o'rtacha, 2024 yil	9%
4	Bir yildagi umumiy foyda, mln.so'm	135,0
5	Yillik ekspluatatsion xarajatlar, mln.so'm	13,96
6	Yillik elektr energiyasiga sarflangan xarajatlar, mln.so'm	32,0
7	Bir yildagi umumiy xarajatlar, mln. so'm	45,96
8	Ishlash muddati, yil	20
8	Sof joriy qiymat, (NPV) mln.so'm	753.0
9	Foydaning ichki meyor, (IRR) %	17%
10	Foyda indeksi, (IP>1)	2,9
11	Statik qoplash muddati, yil	4,45
12	Dinamik qoplash muddati, yil	5,10

XULOSA

Dissertatsiya ishida qo'yilgan vazifalarni hal etish bo'yicha olib borilgan tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar taklif qilindi:

1. Zamonaviy suzish basseynlarining isitish tizimlarini ilmiy-texnik tahlili asosida suzish basseynini suvini kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli geliotermik qizdirish tizimining texnologik sxemasi ishlab chiqildi va issiqlik balansi parametrlari asoslandi.

2. Suzish basseynlarini qayta tiklanadigan issiqlik energiyasi bilan ta'minlash maqsadida past patensialli quyosh hovuzi qurilmasining laboratoriya namunasi yaratildi va harorat rejimi tadqiq qilindi.

3. Quyosh hovuzi qurilmasi issiqlik balansining statik va dinamik holatdagi matematik modeli MATLAB/Simulink va COMSOL Multiphysics dasturiy ta'minotida modellashtirildi hamda statsionar va dinamik rejimda quyosh hovuzi har bir zonasining haroratini vaqt bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi grafiklar olindi.

4. Yopiq binoda joylashgan suzish basseynining barqaror harorat rejimidagi issiqlik balansini matematik modellashtirish asosida asosiy issiqlik energiyasi yo'qotishlari aniqlandi. Tadqiqot natijalari tahlili shuni ko'rsatadiki 4-5% issiqlik

energiyasi konvektiv issiqlik almashinuvi, 40-45% suvning bug‘lanishi, 15-20% nurlanish, 10-15% grund va 10-15% issiqlik energiyasi zahira suvi qo‘shilishi orqali yo‘qotilishi aniqlandi.

5. Tadqiqot natijasida basseyn suvining turli haroratlarida kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimidan chiquvchi suv haroratining suvning massa sarfiga bog‘liqlik empirik tenglamalar olindi. Unga ko‘ra basseyn suvini talab etilgan haroratgacha qizdirishda basseyn suvining sarfi 0,2-0,4 kg/s oraliqda bo‘lishi, basseynning talab etilgan haroratdagi suvini shu haroratda saqlab turish uchun suv sarfi 0,1-0,2 kg/s oraliqda o‘zgarishi optimal ekanligi aniqlandi.

6. Suzish basseyni kombinatsiyalashgan quyosh hovuzi-issiqlik nasosli qizdirish tizimida issiqlik nasosining ishlash samaradorligini aniqlash uchun tajriba bug‘ kompressorli issiqlik nasosi qurilmasida tadqiqotlar o‘tkazildi. Tajriba tadqiqotlari natijasi asosida kondensatorda quyosh hovuzi suv harorati 5 °C, 10 °C, 15 °C va 20 °C bo‘lganda issiqlik nasosining transformatsiya koeffitsiyenti mos ravishda $\varphi=2,1$, $\varphi=2,55$, $\varphi=2,91$ va 20 °C da $\varphi=4$ ga teng bo‘lishi aniqlandi.

7. Foydali hajmi 158,4 m³ bo‘lgan suzish basseynini quyosh hovuzi-issiqlik nasosli kombinatsiyalashgan qurilma yordamida isitish, ananviy elektr isitish tizimli suzish basseynlariga nisbatan isitish mavsumi davomida 114638 kVt*soat elektr energiyasini tejash imkonini beradi. Tabiiy gaz qozonli isitish tizimi bilan taqqoslaganda 20347 m³ tabiiy gazni tejab qolishga va atmosferaga 37,6 tonna karbonat angidrid gazi chiqishining oldini olishga erishiladi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD. 03/30.09.2020.Т.111.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ КАРШИНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**КАРШИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ЭЛМУРОДОВ НУРИДДИН САЙИТМУРОДОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ГЕЛИОТЕРМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВА
ВОДЫ В ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ**

05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Карши – 2025

Тема диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №В2024.2.PhD/T4701.


Диссертация выполнена в Каршинском государственном техническом университете. Автореферат диссертации написан на трех языках (узбекском, русском, английском (резюме)), размещен на веб-странице Научного совета (www.kstu.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу (www.ziyo.net/uz).

Научный руководитель:	Узakov Гулом Нарбоевич доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Ахатов Жасуржон Сайидович доктор технических наук, старший научный сотрудник Тойиров Зукур кандидат технических наук, доцент
Ведущая организация:	Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет

Защита диссертации состоится «23» 08 2025 года в 15⁰⁰ часов на заседании Научного совета PhD.03/30.09.2020.T.111.03 при Каршинском государственном техническом университете. (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Каршинского государственного технического университета (зарегистрировано № 477). (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz)

Автореферат диссертации разослан «07» 08 2025 года.
(реестр протокола рассылки № 32 от «07» 08 2025 года).


Б. Уришев
Вр.и.о. председателя Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор
Х.А. Давлонов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.ф.т.н. доцент
Б.Э.Хайриддинов
Председатель научного семинара при
Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в сфере теплоснабжения зданий придается особое значение вопросам экономии природных энергетических ресурсов, а также переходу на возобновляемые и альтернативные источники энергии на основе современных технологических достижений. В настоящее время 30-40% мирового потребления энергии приходится на энергопотребление зданий⁴. В развитых странах мира тепловые насосы становятся основными техническими средствами отопления зданий. Согласно данным Международного энергетического агентства, в странах Европейского Союза к 2030 году планируется увеличить долю использования тепловых насосов в системах теплоснабжения с 32% до 79%. Тепловая мощность тепловых насосов, работающих на низкотемпературном тепле почвы и солнечных прудов, в настоящее время превысила 15 ГВт⁵. В этом направлении уделяется большое внимание научным исследованиям по разработке надежных круглогодичных источников низкотемпературного тепла для тепловых насосов, в частности, солнечных прудов.

В мире проводятся научные исследования, направленные на использование при теплоснабжении зданий с парокомпрессорными тепловыми насосами, работающих на низкотемпературных источниках тепла, и в частности, на разработку комбинированных установок с солнечным прудом и тепловым насосом, основанных на аккумуляции солнечной энергии, для повышения энергетической эффективности зданий плавательных бассейнов. В данном направлении к числу приоритетных относятся научные изыскания по изучению процессов аккумуляции энергии в солнечном пруду и теплообмена посредством установленного в нем теплообменника, оптимизации теплотехнических параметров комбинированных систем отопления с солнечным прудом и тепловым насосом, а также по исследованию температурных режимов, использованию солнечных прудов и установленных в них солнечных рефлекторов при повышении эффективности работы установок с тепловым насосом, предназначенных для подогрева воды в плавательных бассейнах.

В нашей республике осуществляются широкомасштабные меры по разработке и внедрению в практику зеленых технологий на основе тепловых насосов и солнечных установок. В постановлении Президента Республики Узбекистан от 2 декабря 2022 года №ПП-436 “О мерах по повышению эффективности реформ, направленных на переход Республики Узбекистан на “зеленую” экономику до 2030 года” сформулированы важные задачи по “повышению эффективности принимаемых мер в рамках Стратегии перехода Республики Узбекистан на «зеленую» экономику, а также по дальнейшему расширению использования возобновляемых источников энергии и

⁴ Energy consumption of buildings| https://climateactionaccelerator.org/solution-areas/energy_consumption_of_buildings

⁵ <https://econet.ru/articles/148891-teplovye-nasosy-statistika-ispolzovaniya-v-evrope-i-mire>

ресурсосбережения во всех отраслях экономики”⁶. При реализации этих задач особую актуальность приобретают такие научно-технические вопросы, как разработка комбинированной системы подогрева воды с солнечным прудом и тепловым насосом и ее внедрение в системы отопления плавательных бассейнов.

Данное диссертационное исследование в определенной мере служит реализации задач, намеченных в постановлениях Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 года № ПП-4422 “Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии”, от 4 октября 2019 года № ПП-4477 “Об утверждении Стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019-2030 годов”, от 2 декабря 2022 года №ПП-436 “О мерах по повышению эффективности реформ, направленных на переход Республики Узбекистан на “зеленую” экономику до 2030 года”, других нормативно-правовых документах, регулирующих эту сферу деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологий, фотоники и других передовых технологий».

Степень изученности проблемы. Инновационные технологии аккумулирования солнечной энергии, ее превращения в тепло и использования для подогрева воды в плавательных бассейнах находится в центре внимания целого ряда мировых научных центров, в том числе расположенных в США, Испании, Германии, Индии, Австралии, Греции и других странах.

В мире научные исследования по применению в системах теплоснабжения зданий плавательных бассейнов комбинированных систем подогрева воды с солнечным прудом и тепловым насосом, а также по повышению энергоэффективности таких систем, созданию эффективных солнечных установок и изучению энерго- и ресурсосберегающих тепловых режимов проводились такими учеными, как G.N.Tiwari (Индия), A.H.Tarrad (Ирак), S.B.Sharma (Индия), M.M. Shah (Пакистан), R. Mahmoudi (Иран), J.C. Lam (Китай), W.W. Chan (Китай), В.А.Бутузов (Россия), К.М. Bataineh (Иордания), Г.Б.Осадчий (Россия), J.T. Czarneski (США) и другими.

В Узбекистане исследования по эффективному использованию солнечной энергии в системах теплоснабжения зданий, а также по созданию и совершенствованию энергосберегающих солнечных установок проводили Р.А.Захидов, Р.Р.Авезов, А.Б.Вардиашвили, Ш.И.Кличев, А.Абдурахмонов,

⁶Постановление Президента Республики Узбекистан от 2 декабря 2022 года №ПП-436 “О мерах по повышению эффективности реформ, направленных на переход Республики Узбекистан на “зеленую” экономику до 2030 года”, <https://lex.uz/ru/docs/6303233>

Н.Р.Авезова, Б.Э.Хайриддинов, Г.Н.Узоков, А.И.Анарбаев и другие. Однако исследований по разработке солнечных коллекторов и тепловых насосов для системы подогрева воды в крытых плавательных бассейнах проведено недостаточно. Поэтому использование комбинированных систем с солнечным прудом и тепловым насосом для отопления плавательных бассейнов, а также повышение тепловой и энергетической эффективности бассейна является важной задачей.

Связь диссертационного исследования с планом научной работы высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Каршинского инженерно-экономического института в рамках фундаментального проекта П-4821091659 “Разработка научно-технических основ гибридных систем теплоснабжения с учетом метеорологических особенностей климата региона” (2023-2024 г.г.).

Цель исследования заключается в разработке системы подогрева воды в плавательных бассейнах на основе установки с солнечным прудом и тепловым насосом, а также обосновании ее теплоэнергетических параметров.

Задачи исследования:

разработка схемы комбинированной системы подогрева с солнечным прудом и тепловым насосом для нагрева воды в плавательных бассейнах;

моделирование и расчет теплового баланса установки “солнечный пруд”;

исследование температурного режима и теплового баланса плавательных бассейнов с комбинированной системой подогрева с солнечным прудом и тепловым насосом;

обоснование теплотехнических параметров комбинированной системы подогрева с солнечным прудом и тепловым насосом;

определение показателей энергетической и технико-экономической эффективности комбинированной системы подогрева с солнечным прудом и тепловым насосом.

Объектом исследования является комбинированная система подогрева воды плавательных бассейнов с солнечным прудом и тепловым насосом.

Предмет исследования заключается в исследовании энергетического баланса и процессов теплообмена установки “солнечный пруд” для получения тепла из солнечной энергии, парокomppressorного теплового насоса и плавательного бассейна.

Методы исследования. В процессе исследования использованы методы экспериментального исследования аккумулирования энергии солнечного излучения и превращения ее в тепловую энергию, теоретические основы теплотехники, а также методы математического моделирования и экспериментального исследования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые разработана гелиотермическая система подогрева воды плавательного бассейна, позволяющая на основе комбинирования

солнечного пруда и теплового насоса одновременно использовать для нагрева воды в плавательных бассейнах энергию солнечного излучения, солнечный пруд и тепловые выбросы конденсатора теплового насоса (FAP №2504);

создана конструкция низкопотенциальной установки “солнечный пруд”, аккумулирующей энергию падающего на поверхность воды солнечного излучения и преобразующей ее в тепловую энергию, а также усовершенствованной с помощью плоские солнечного рефлектора;

разработана математическая модель теплового баланса солнечного пруда, в основе которой лежат уравнения теплового баланса, позволяющие рассчитать зависимость температурного режима солнечного пруда от солнечной радиации, температуры окружающей среды, концентрации солевого раствора, а также его конструкции и геометрических размеров;

на основе уравнений энергетического баланса системы подогрева с учетом объема потребляемой энергии, необходимой для подогрева воды в плавательном бассейне, и тепловых потерь получены эмпирические зависимости, позволяющие определить зависимость температуры воды бассейна на выходе из комбинированной системы отопления от изменение расхода воды.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана гелиотехнология получения тепловой энергии на основе энергии солнечного излучения, теплообменного устройства и солевого раствора определенной концентрации;

разработана система снабжения плавательных бассейнов водой нужной температуры на основе комбинированной установки с солнечным прудом и тепловым насосом.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается их проведением с использованием методов математического моделирования и экспериментального исследования, применением общепризнанных методик при осуществлении и обработке результатов теплотехнических экспериментов, а также соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в создании математической модели теплового баланса, позволяющей определить и рассчитать энергосберегающие режимы подогрева воды плавательного бассейна с учетом использования энергии солнечного пруда и тепловых насосов, тепловых режимов солнечного пруда, тепловых потерь плавательного бассейна и факторов, снижающих удельные энергозатраты бассейна, уравнений теплового баланса, а также программы для расчета теплотехнических параметров.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке энергоэффективной комбинированной системы подогрева воды плавательного бассейна с использованием солнечного пруда и теплового

насоса, а также в том, что разработанная комбинированная система подогрева воды бассейна с солнечным прудом и тепловым насосом позволяет снизить удельные энергозатраты плавательного бассейна.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов, полученных в процессе разработки системы гелиотермического подогрева воды в плавательных бассейнах:

в государственном учреждении “Центр интеллектуальной собственности” при Министерстве юстиции Республики Узбекистан получен патент на полезную модель системы отопления комплекса плавательного бассейна (FAP №2504; 2023 год). В результате разработана комбинированная система отопления с солнечным прудом и тепловым насосом, работающая путем аккумуляции солнечной энергии в установке “солнечный пруд” для подогрева воды в плавательном бассейне;

комбинированная система подогрева воды плавательного бассейна при помощи солнечной энергии с солнечным прудом и тепловым насосом внедрена в плавательном бассейне специализированной детско-юношеской школы по водным видам спорта города Карши (справка Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства от 18 ноября 2024 года № 06/12108). В результате подогрева плавательного бассейна при помощи комбинированной системы с солнечным прудом и тепловым насосом в течение отопительного сезона достигнута экономия электроэнергии в объеме 114638 кВт-часов по сравнению с плавательными бассейнами с традиционной системой электрического отопления. По сравнению с традиционной системой отопления с котлом на природном газе достигнута экономия природного газа в объеме 20347 м³ и предотвращен выброс в атмосферу 37,6 тонн углекислого газа.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждены на 4 международных и 6 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 24 научных работ, в том числе 2 – в международных и 6 – в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в ГУ “Центр интеллектуальной собственности” при Министерстве юстиции Республики Узбекистан получен патент на полезную модель и 2 авторских свидетельства на программный продукт.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении приводится обоснование актуальности и востребованности исследования, формулируются цели и задачи, характеризуются объект и предмет исследования, показывается его соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий в нашей республике, описываются научная новизна и практические результаты исследования, раскрывается научная и практическая значимость полученных результатов, содержатся сведения о внедрении результатов исследований на практике, а также об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Анализ современного состояния систем подогрева воды в плавательных бассейнах»** представлен анализ современного состояния используемых в мире альтернативных источников энергии для подогрева воды в плавательных бассейнах, рассмотрены методы использования альтернативных источников энергии для подогрева воды в бассейнах, приводится анализ проведенных работ по применению высокоэнергоэффективных комбинированных установок с солнечным прудом и тепловым насосом для подогрева воды в плавательных бассейнах и определению их оптимальных параметров, а также анализ современных конструкций установок подогрева воды в плавательных бассейнах.

На основе проведенных экспериментальных и научных исследований обосновано, что вопросы разработки солнечного пруда, собирающего солнечную тепловую энергию, а также обоснования теплотехнических параметров теплового насоса, работающего на его низкотемпературном тепле, сокращения использования традиционных энергоресурсов при подогреве воды плавательных бассейнов, а также круглогодичного обеспечения плавательных бассейнов экологически чистой энергией с использованием комбинированных устройств с солнечным прудом и тепловым насосом изучены недостаточно. Также проведено недостаточно исследований по повышению энергоэффективности систем подогрева воды в бассейнах с использованием тепловых насосов на основе энергии солнечного пруда, разработке технологических решений по внедрению данной системы подогрева в плавательных бассейнах, обоснованию экономической эффективности комбинированного устройства с солнечным прудом и тепловым насосом. На основе исследований и анализа существующих установок с солнечным прудом и тепловым насосом сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Исследование теплового режима установки “солнечный пруд”**», приводятся результаты эксперимента, проведенного на установке “солнечный пруд”. В целях совершенствования системы теплоснабжения и подогрева воды, а также сокращения топливно-энергетических затрат разработана экспериментальная установка “солнечный пруд” (рис.1, 2).



Рис.1. Экспериментальная установка «солнечный пруд»

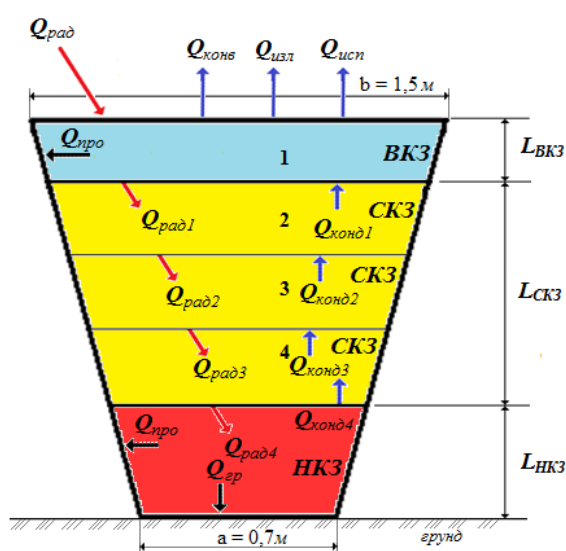


Рис.2. Расчетная схема теплового баланса солнечного пруда

Для исследования процесса аккумуляции солнечной энергии на полигоне научных исследований «Альтернативные источники энергии» Каршинского государственного технического университета была сооружена экспериментальная установка «солнечный пруд», и в целях оценки возможности получения тепла при помощи этой установки были осуществлены процессы опытных испытаний в теплой соленой воде с разной концентрацией соли (рис.3).

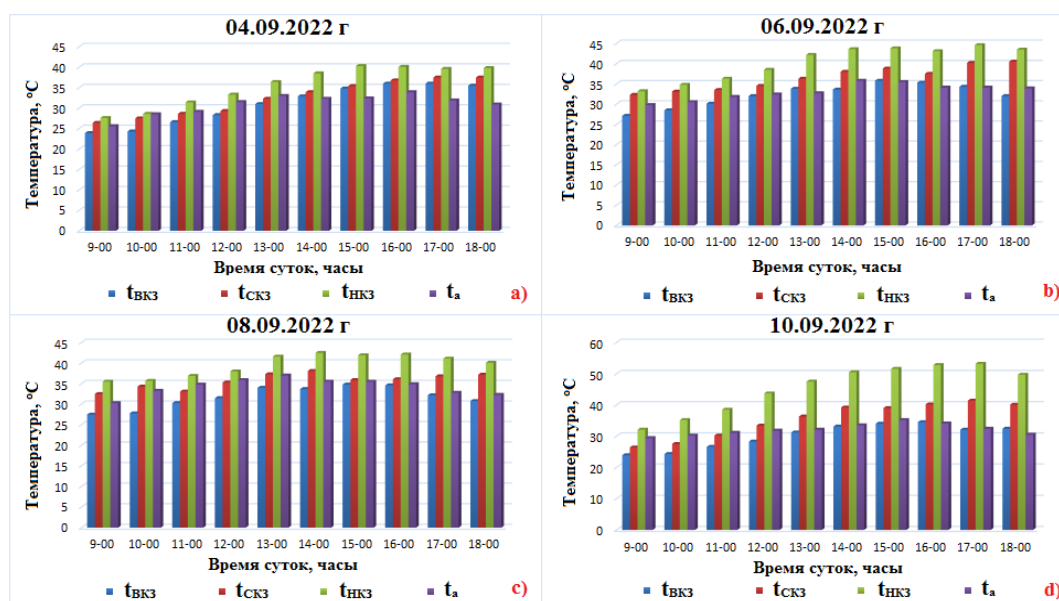


Рис.3. Диаграмма зависимости температур слоев солнечного пруда от времени (а-соленая вода с 10%-ной концентрацией; б соленая вода с 15%-ной концентрацией; с- соленая вода с 20%-ной концентрацией; д- соленая вода с 25%-ной концентрацией)

Значения теплопоглощения и теплопотерь в разных конвективных зонах солнечного пруда частично отражены на рис.2. Тепловой баланс зон солнечного пруда математически можно выразить следующим образом:

$$\begin{cases} Q_{BK3} = Q_{rad1} + Q_{конд1} - Q_{пол} - Q_{пров_{BK3}} \\ Q_{CK3} = Q_{rad2} + Q_{конд3} - Q_{конд1} - Q_{пров_{CK3}} \\ Q_{HK3} = Q_{rad3} - Q_{конд3} - Q_{пров_{HK3}} - Q_{2p} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \rho_c C_c V_{BK3} \frac{dt_{BK3}}{d\tau} = \alpha\tau F_{BK3} q_{rad} + \frac{\lambda \cdot F_{CK3}}{L_{BK3}} (t_{CK3} - t_{BK3}) - (\alpha_{кон} + \alpha_{rad}) F_{BK3} \cdot (t_{BK3} + t_a) - \frac{F_{стен_{BK3}}}{R} (t_{BK3} - t_a) \\ \rho_c C_c V_{CK3} \frac{dt_{CK3}}{d\tau} = \alpha\tau F_{CK3} q_{rad} + \frac{\lambda \cdot F_{HK3}}{L_{CK3}} (t_{HK3} - t_{CK3}) - \frac{\lambda \cdot F_{CK3}}{L_{BK3}} (t_{CK3} - t_{BK3}) - \frac{F_{стен_{CK3}}}{R} (t_{CK3} - t_a) \\ \rho_c C_c V_{HK3} \frac{dt_{HK3}}{d\tau} = \alpha\tau F_{HK3} q_{rad} - \frac{\lambda \cdot F_{HK3}}{L_{CK3}} (t_{HK3} - t_{CK3}) - \frac{F_{стен_{HK3}}}{R} (t_{HK3} - t_a) - \frac{F_{OCH}}{R} (t_{HK3} - t_{2p}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{dt_{BK3}}{d\tau} = -\left(\frac{\alpha_{кон} F_{BK3} + \alpha_{rad} F_{BK3} + \frac{F_{стен_{BK3}}}{R}}{\rho_c C_c V_{BK3}}\right) t_{BK3} + \frac{\alpha_{кон} F_{BK3} + \alpha_{rad} F_{BK3}}{\rho_c C_c V_{BK3}} t_a + \frac{\alpha\tau F_{BK3} q_{rad}}{\rho_c C_c V_{BK3}} + \frac{5,4\lambda F_{CK3}}{\rho_c C_c V_{BK3} L_{BK3}} \\ \frac{dt_{CK3}}{d\tau} = -\frac{F_{стен_{CK3}}}{R\rho_c C_c V_{CK3}} t_{CK3} + \frac{F_{стен_{CK3}}}{R\rho_c C_c V_{CK3}} t_a + \frac{\alpha\tau F_{CK3} q_{rad}}{\rho_c C_c V_{CK3}} + \frac{11,57\lambda \cdot F_{HK3}}{L_{CK3} \rho_c C_c V_{CK3}} - \frac{5,4\lambda \cdot F_{CK3}}{L_{BK3} \rho_c C_c V_{CK3}} \\ \frac{dt_{HK3}}{d\tau} = -\left(\frac{F_{стен_{HK3}} + F_{OCH}}{R\rho_c C_c V_{HK3}}\right) t_{HK3} + \frac{F_{стен_{HK3}}}{R\rho_c C_c V_{HK3}} t_a + \frac{F_{OCH}}{R\rho_c C_c V_{HK3}} t_{2p} + \frac{\alpha\tau F_{HK3} q_{rad}}{\rho_c C_c V_{HK3}} - \frac{11,57\lambda \cdot F_{HK3}}{L_{CK3} \rho_c C_c V_{HK3}} \end{cases} \quad (3)$$

В целях решения приведенных выше уравнений (1)-(3) в пакете MATLAB/Simulink была построена блок-схема пруда в динамическом режиме (рис.4).

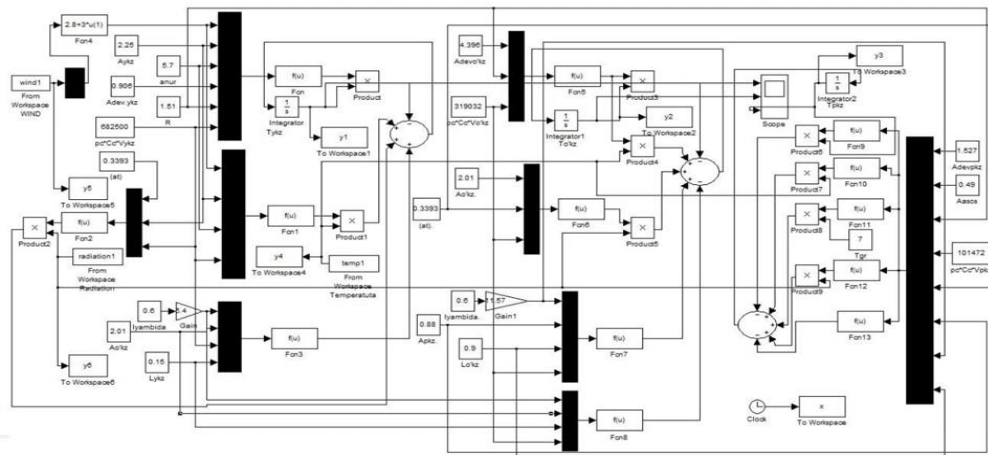


Рис.4. Блок-схема установки «солнечный пруд» в динамическом режиме

На основе этой блок-схемы 24 мая, 21 июня, 20 сентября и 26 октября 2022 года в климатических условиях города Карши в динамическом режиме, принимая во внимание 25-процентную концентрацию соли в воде солнечного пруда и почасовые изменения климатических данных, полученных в системе GlobaSolarMap, были составлены графики изменения температур зон солнечного пруда во времени (рис.5).

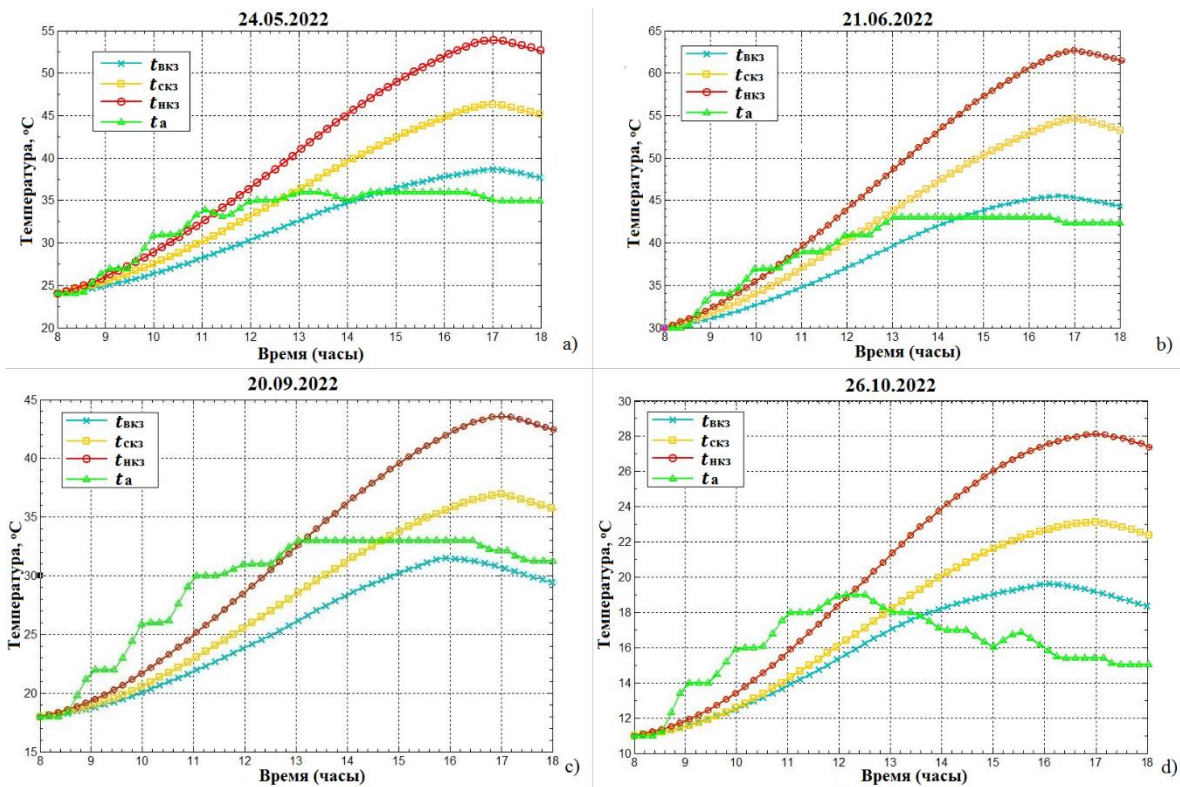


Рис.5. Графики изменения температур зон солнечного пуда во времени

Результаты исследований, полученные в динамическом режиме на основе проведенных изысканий, сопоставлены с результатами проведенных в те же дни экспериментальных исследований. Различие (адекватность) температур солнечного пуда, установленных в результате эксперимента и моделирования, оценено на основе критерия Фишера. Расчетные графики, построенные на основе результатов сравнения, приведены на рис.6.

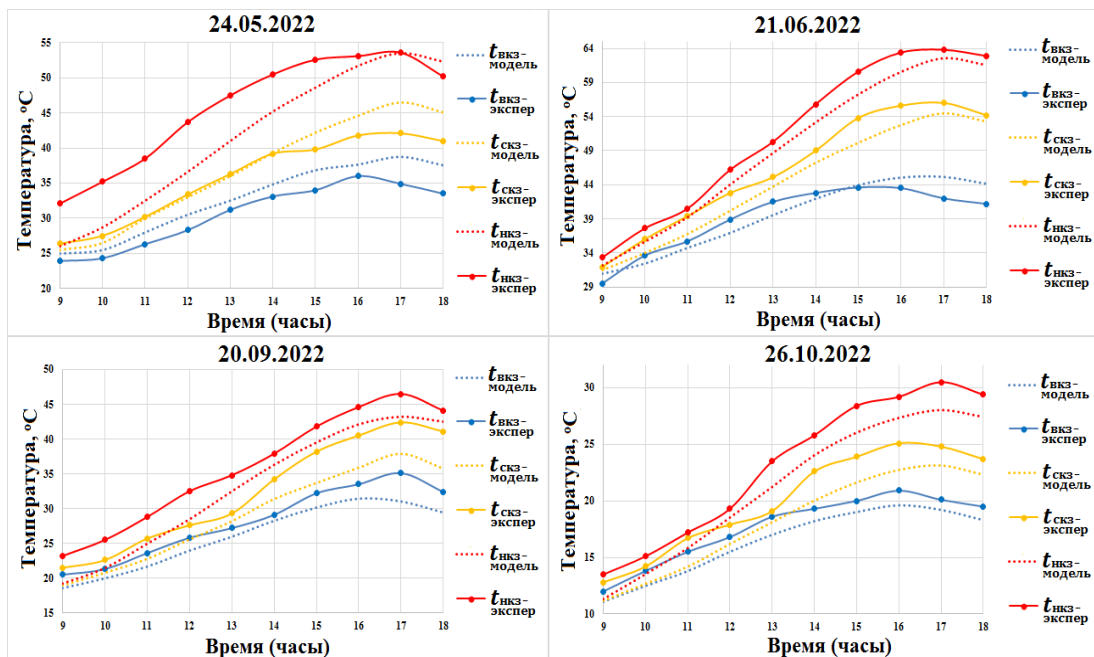


Рис.6. Графики изменений температур солнечного пуда во времени, установленных в ходе эксперимента и на основе моделирования

Сравнение различий между результатами экспериментов и расчетными результатами осуществлялось по результатам исследований, проведенных в течение каждого месяца. По итогам сравнения, в среднем различие между результатами экспериментов и расчетными результатами составило для верхней конвективной зоны (ВКЗ) –10,34%, для средней неконвективной зоны (СКЗ) – 10,01%, нижней конвективной зоны (НКЗ) – 9,01%.

Было исследовано влияние различных солей на теплоэффективность солнечного пруда (рис.7).

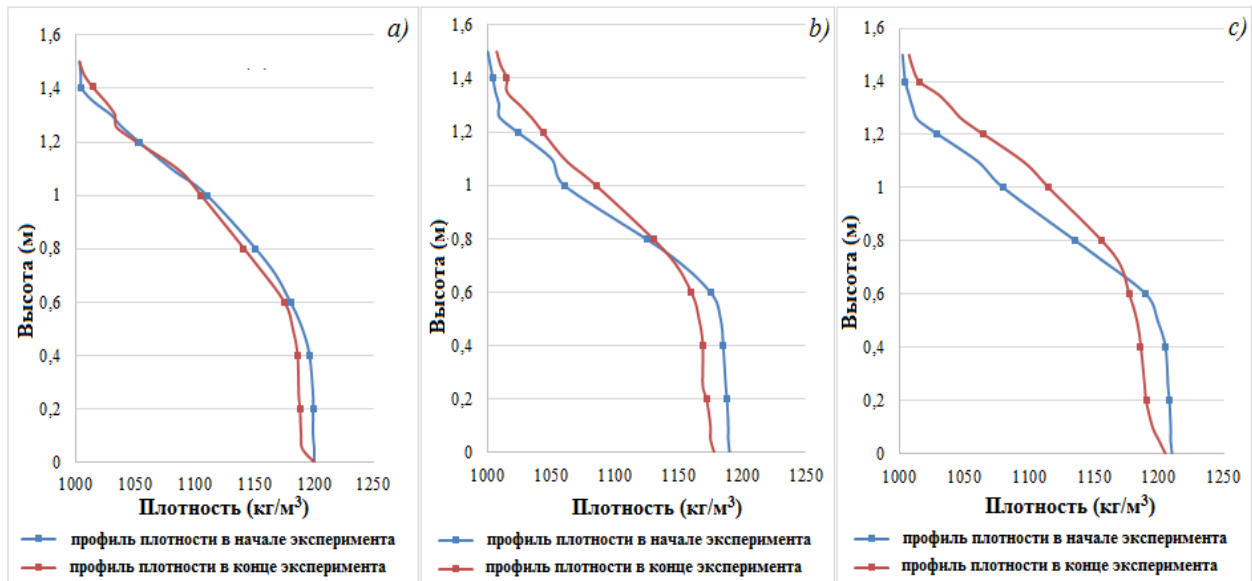


Рис.7. Распределение плотности соленой воды по глубине солнечного пруда (а- раствор соли NaCl, b – раствор соли KCl tuzli eritma, с- раствор соли MgCl₂)

В ходе эксперимента для применения в солнечном пруду было использовано 3 вида соли – хлорид натрия (NaCl), хлорид магния (MgCl₂) и хлорид калия (KCl) и изучены их физические свойства. В целях определения плотности и теплоемкости каждого солевого раствора в процессе эксперимента были взяты пробы с разных глубин пруда. Были изучены профили плотности всех солевых растворов в каждом слое солнечного пруда в начале и в конце эксперимента. В начале эксперимента в нижней конвективной зоне плотность раствора с хлоридом натрия (NaCl) составляла 1200 кг/м³, с хлоридом магния (MgCl₂) - 1210 кг/м³, с хлоридом калия (KCl) - 1195 кг/м³. Установлено, что в верхней конвективной зоне плотность каждого из растворов изменилась до значений в пределах 1002-1004 кг/м³, а в конце эксперимента поднялась до 1007 кг/м³.

В ходе экспериментов при помощи метода адиабатической калориметрии были определены значения удельной теплоемкости этих солевых растворов при различных температурах и концентрации (рис.8).

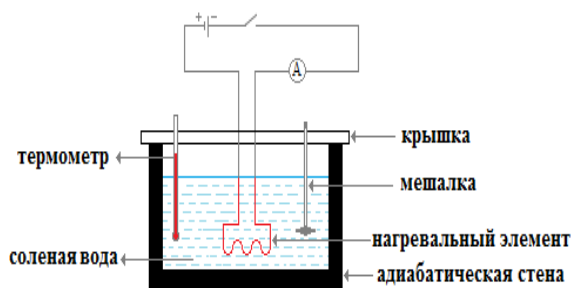


Рис.8. Экспериментальная установка «адиабатический калориметр»

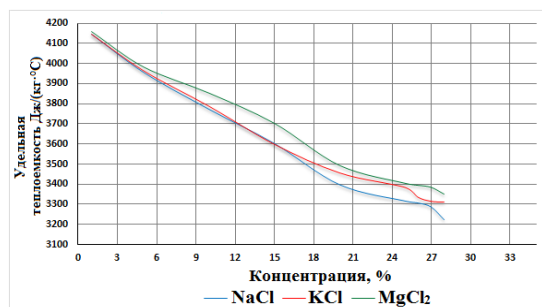


Рис.9. Изменение удельной теплоемкости солевых растворов NaCl, KCl и MgCl₂ при различной концентрации солей

Экспериментальные работы проводились при температуре в пределах 20°C-70°C и концентрации соли в воде 5%-28%. Как можно увидеть на рис.9, в результате исследований, проведенных в каждом из солевых растворов, было установлено, что теплоемкость раствора снижается по мере повышения температуры и увеличения концентрации соли в воде.

В рамках диссертационной работы было исследовано влияние солнечных рефлекторов на теплоэффективность солнечного пруда. В условиях города Карши на экспериментальном солнечном пруде использовались солнечные рефлекторы величиной 1,5 м и 0,5 м, которые были размещены с трех сторон экспериментального солнечного пруда. Рефлекторы поворачиваются под углом 10° и 150° относительно вертикальной оси.

В условиях города Карши было изучено отражение солнечных лучей от солнечного рефлектора и их падение на солнечный пруд.

$$\alpha = \phi + \psi \quad (4)$$

где α - угол отражения солнечных лучей от солнечных рефлекторов (угол отражения), ϕ - угол высоты солнца, а ψ - угол наклона солнечного рефлектора.

В результате эксперимента с использованием рефлекторов были достигнуты показатели, превышающие показатели эксперимента без применения рефлекторов, а максимальное значение температуры нижней зоны солнечного пруда поднялось до 52 °С (рис.10).

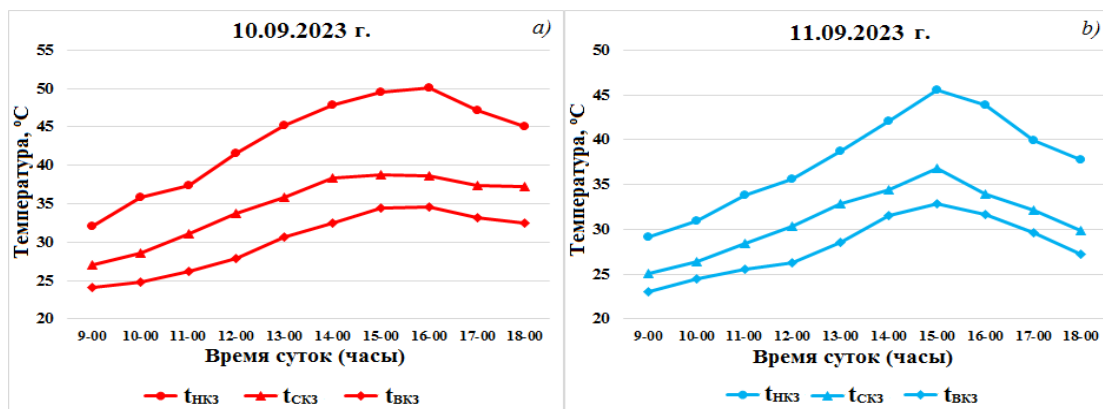


Рис.10. Изменение температур зон солнечного пруда (а-результаты измерений в положении с использованием рефлектора; б-без рефлектора)

В ходе экспериментов на основе изменения температур солнечного пруда и измерений, проведенных в пруду без рефлекторов и с рефлекторами, была проанализирована его средняя энергоэффективность в сентябре.

Энергоэффективность для нижней конвективной зоны определяется с помощью следующей формулы:

$$\eta_{\text{НКЗ}} = \frac{Q_{\text{рад}_{\text{НКЗ}}} - Q_{\text{про}_{\text{НКЗ}}} - Q_{\text{осн}} - Q_{\text{кондЗ}}}{Q_{\text{рад}_{\text{НКЗ}}}} \quad (5)$$

где $Q_{\text{рад}_{\text{НКЗ}}}$ - энергия солнечного излучения, поглощаемого в НКЗ, $Q_{\text{про}_{\text{НКЗ}}}$ - потери энергии через внешние стены НКЗ, $Q_{\text{осн}}$ - потери энергии через основание пруда, $Q_{\text{кондЗ}}$ - теплопередача посредством теплопроводности от НКЗ к СКЗ.

На основе уравнений разработанной математической модели был произведен расчет энергоэффективности для НКЗ солнечного пруда. При использовании солнечных рефлекторов энергоэффективность слоя НКЗ в 15-00 часов достигла максимального значения 68%. В положении без рефлектора наблюдалось повышение данного показателя до 61%.

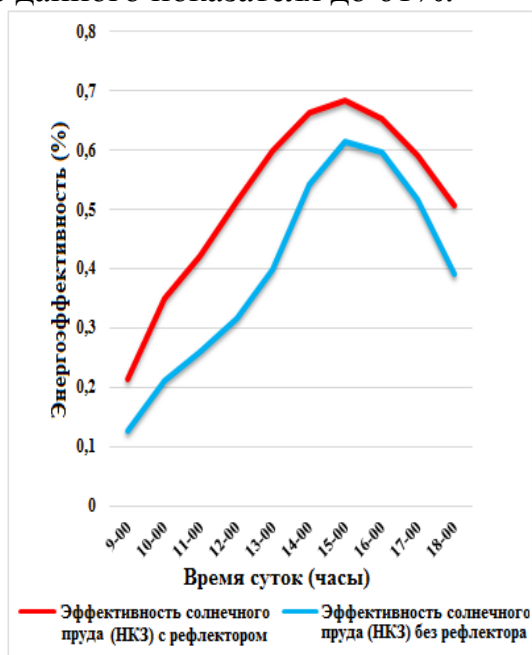


Рис.11. Изменение энергоэффективности установки “солнечный пруд” в положении с рефлектором и без рефлектора

В третьей главе диссертации под названием **“Разработка и исследование гелиотермической системы подогрева воды в плавательных бассейнах”** приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований, проведенных в комбинированной установке с солнечным прудом и тепловым насосом. На основе результатов исследований на экспериментальной установке теплового насоса с паровым компрессором был установлен коэффициент ее трансформации. Цель проведения данных исследований заключается в определении энергоэффективности комбинированной установки с солнечным прудом и паровым насосом.

В ходе исследования сначала была разработана технологическая схема экспериментальной системы подогрева воды плавательного бассейна (рис.12) и изучены его теплотехнические параметры.

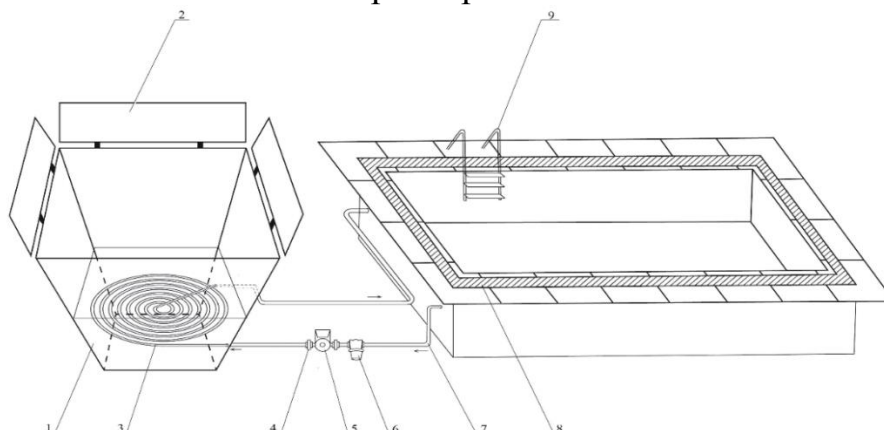


Рис.12. Система подогрева воды плавательного бассейна на основе установки “солнечный пруд”

1-солнечный пруд, 2-рефлектор, 3-теплообменное устройство (змеевик), 4-гайка для соединения труб, 5-циркуляционный насос, 6-водяной фильтр, 7- труба, 8- лоток для слива лишней воды, 9- лестница бассейна

Уравнение теплового баланса системы подогрева с солнечным прудом по поверхности теплообменного устройства F_k в течение промежутка времени $d\tau$ будет иметь следующий вид.

$$dQ = k_c \cdot F_k \cdot \Delta t \, d\tau = G_c c_c (t_{\text{вых}} - t_{\text{вход}}) d\tau = m_x \cdot c_x \cdot dt_x \quad (6)$$

Среднее логарифмическое значение изменение температур Δt в течение времени τ можно записать следующим образом.

$$\Delta t = \frac{t_{\text{вых}} - t_{\text{вход}}}{\ln \frac{t_{\text{нкз}} - t_{\text{вход}}}{t_{\text{нкз}} - t_{\text{вых}}}} \quad (7)$$

Коэффициент теплопередачи от раствора в нижней теплоаккумулирующей зоне солнечного пруда к теплообменному устройству определяется следующим образом:

$$k_c = \frac{G \cdot c}{F} \ln \frac{t_{\text{нкз}} - t_{\text{вход}}}{t_{\text{нкз}} - t_{\text{вых}}} \quad (8)$$

В результате проведенных исследований были определены средние значения изменения во времени температуры окружающей среды для осенних месяцев 2023 года, температуры нижнего слоя солнечного пруда, температуры теплоносителя на входе и выходе, коэффициента теплопередачи к теплообменному устройству, расположенному в НКЗ солнечного пруда (рис.13,14).

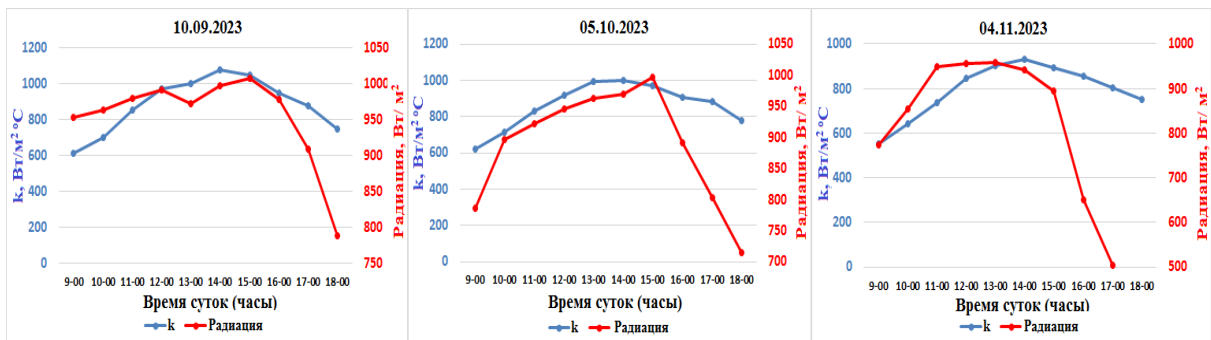


Рис.13. График изменения солнечной радиации и коэффициента теплопередачи во времени

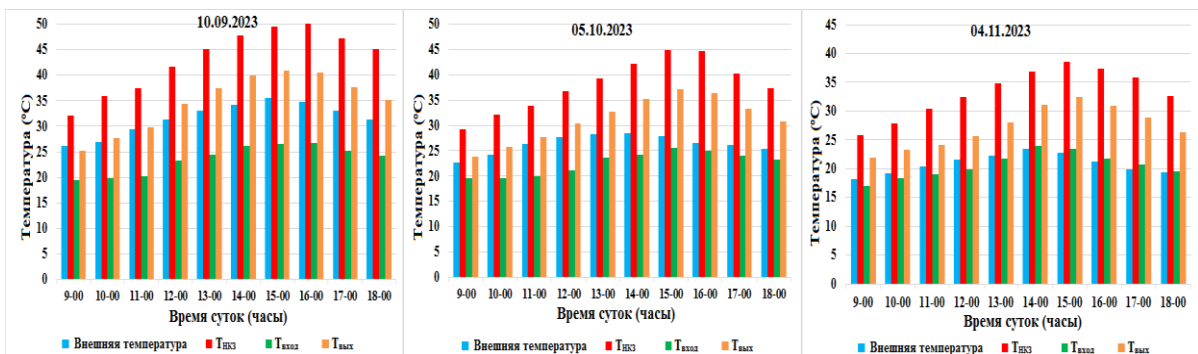


Рис.14. Изменение во времени температуры окружающей среды, температуры нижнего слоя солнечного пруда, температуры теплоносителя на входе и выходе

В ходе исследований, используя формулу (6), было составлено эмпирическое уравнение изменения температуры воды на выходе из солнечного пруда.

$$k_c \cdot F \cdot \frac{t_{\text{вых}} - t_{\text{вход}}}{\ln \frac{t_{\text{нкз}} - t_{\text{вход}}}{t_{\text{нкз}} - t_{\text{вых}}}} = G_c c_c (t_{\text{вых}} - t_{\text{вход}}) \quad (9)$$

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{нкз}} - (t_{\text{нкз}} - t_{\text{вход}}) e^{\frac{k_c F}{G_c c_c}} \quad (10)$$

В соответствии с почасовым изменением значений температуры окружающей среды и радиации было определено почасовое изменение температуры воды на выходе из солнечного пруда (рис.15).

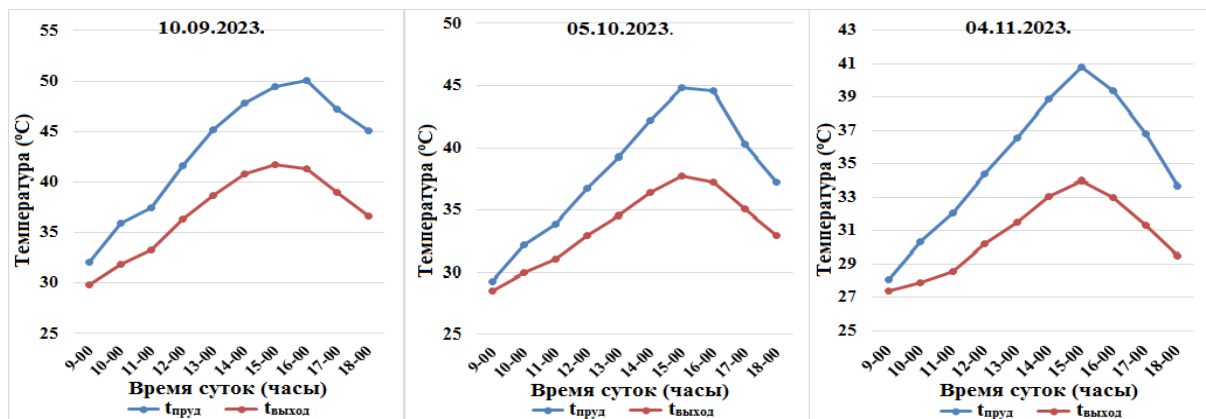


Рис.15. Почасовое изменение температуры воды на выходе из солнечного пруда при неизменном значении температуры воды 27 °С на входе в солнечный пруд из бассейна

В ходе исследований были произведены расчеты, которые показали, что в условиях осеннего сезона в городе Карши при помощи экспериментального солнечного пруда объемом 2 м^3 и теплообменного устройства, расположенного в его НКЗ, можно в течение 1 суток обеспечить теплой водой плавательный бассейн объемом 5 м^3 .

В целях сокращения расхода энергоресурсов и повышения показателей энергоэффективности в плавательных бассейнах была разработана технологическая схема комбинированной системы подогрева воды с солнечным прудом и тепловым насосом (рис.16).

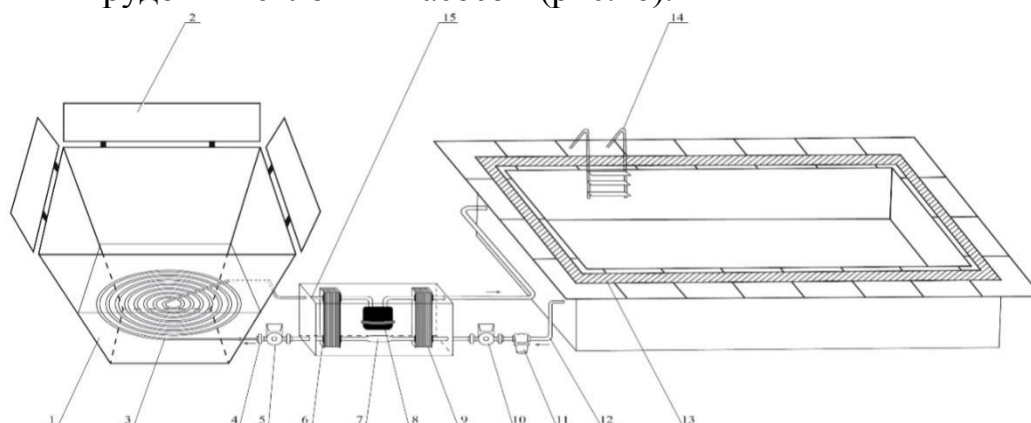


Рис.16. Комбинированная система подогрева плавательных бассейнов с солнечным прудом и тепловым насосом (FAP №2504)

1-солнечный пруд, 2-рефлектор, 3-теплообменное устройство, 4-гайка соединения труб, 5,10 – циркуляционные насосы, 6-испаритель, 7-дрозель, 8-компрессор, 9-конденсатор, 11-водяной фильтр, 12- труба, соединяющая бассейн и тепловой насос, 13- лоток слива лишней воды, 14- лестница бассейна, 15- труба, соединяющая солнечный пруд и тепловой насос.

Для определения эффективности этой системы подогрева были разработаны схема теплового баланса плавательного бассейна (рис.17) и методика расчета теплового баланса.

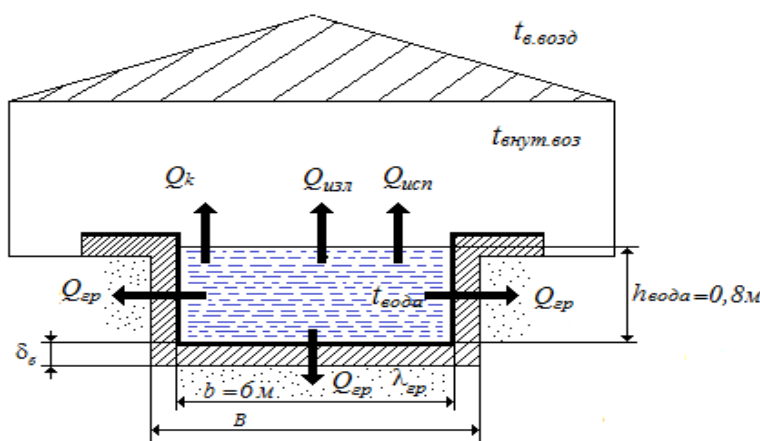


Рис.17. Схема теплового баланса бассейна, расположенного в закрытом помещении.

Приведенная схема расчета позволяет рассчитать температуру воды в бассейне, а также тепловые потоки бассейна и системы подогрева. Посредством данной схемы подогрева было рассмотрено следующее уравнение теплового баланса.

$$\rho_c C_c V_{\sigma} \frac{dT_c}{dt} = \sum (Q_{c.omon} - Q_{nom}) \quad (11)$$

Уравнение баланса теплотерь бассейна в стационарном режиме будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{nom} = Q_{исп} + Q_{рад} + Q_{конв} + Q_{сп} + Q_{с.вода} \quad (12)$$

Скорость испарения воды с поверхности воды в бассейне устанавливается по нижеприведенной формуле:

$$Q_{исп} = \varepsilon \cdot F (P_{нт} - P_n) r = W \cdot r \quad (13)$$

Потери тепла при конвекционном потоке $Q_{конв}$ с единицы поверхности бассейна были определены следующим образом:

$$Q_{конв} = \alpha F (t_{вода} - t_{в.возд}) \quad (14)$$

При этом коэффициент конвективного теплообмена выражается следующим образом:

$$\alpha = 2,8 + 3,0 w_{возд} \quad (15)$$

В крытых плавательных бассейнах радиационные потери определяются с учетом теплопроводности посредством длинноволнового радиационного обмена со стенами зала следующим образом:

$$Q_{рад} = F \cdot q_{рад} = F \varepsilon \sigma ((t_{вода} + 273)^4 - (t_{стена} + 273)^4) \quad (16)$$

Вместе с тем небольшое количество тепла теряется в результате кондуктивной теплопроводности от нижней части и боковых сторон бассейна в грунт. Эти теплотери рассчитываются по формуле:

$$Q_{сп} = K_{\sigma} \cdot F_{\sigma} (t_{вода} - t_{сп}) \quad (17)$$

Общий коэффициент теплопередачи зависит от теплопроводности и толщины бетонных стен бассейна, а также от изолирующего материала, использованного для теплоизоляции стен бассейна, и определяется по следующей формуле.

$$K_{\sigma} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (18)$$

Потери воды в бассейне постоянно компенсируются за счет запаса подпиточной воды, поток которой рассчитывается исходя из испарения воды в бассейне и минимального ежедневного объема замены воды. Согласно стандартам UNI, ежедневный объем замены воды должен составлять приблизительно 2,5-5% от общего объема воды в бассейне. Вследствие того, что температура свежей воды ниже температуры воды в бассейне, происходят теплотери, количество которых можно определить с помощью следующей формулы.

$$Q_{c.вода} = \frac{m \cdot R}{86400} 4186(t_{вода} - t_{c.вода}) \quad (19)$$

Анализ результатов исследования показывает, что потребность крытых плавательных бассейнов в тепловой энергии существенно выше установлено, что потребление ими электроэнергии, 4-5% потерь тепловой энергии происходят при конвективном теплообмене в бассейне, 40-45% - при испарении воды в бассейне, 15-20% - в связи с излучением, 10-15% - посредством теплопроводности стен бассейна, а оставшиеся 10-15% приходится на теплотери при добавлении в бассейн свежей воды.



Рис.18. Распределение теплотерь крытых плавательных бассейнов.

При определении температуры воды, подаваемой в бассейн посредством системы подогрева, важное значение имеют время, которое необходимо для подогрева воды бассейна до требуемой температуры, и расход воды бассейна. Рассчитав рабочий процесс данной системы подогрева в течение одних суток, определим количество энергии, необходимой для повышения температуры бассейна до требуемой температуры.

$$Q_{б.вода} = \frac{m_{б.вода} \cdot C_{вода} \cdot (t_{б.в.вых} - t_{б.в.вход})}{\tau} \quad (20)$$

Используя энергетическое уравнение, с помощью которого посредством массового расхода воды бассейна и изменения температуры устанавливается количество энергии, расходуемой на подогрев бассейна, определяем температуру воды бассейна на выходе из системы подогрева. Тепловая энергия, необходимая для подогрева бассейна.

$$Q_{б.расх} = G_{вода} \cdot C(t_{б.в.вых} - t_{б.в.вход}) \quad (21)$$

$$Q_{б.расх} = Q_{конд} \quad (22)$$

$$G_{вода} C(t_{б.в.вых} - t_{б.в.вход}) = Q_{исп} + N_{комп} \quad (23)$$

$$t_{б.в.вых} = t_{б.в.вход} + \frac{Q_{исп} + N_{комп}}{G_{вода} \cdot C} \quad (24)$$

Приведен график зависимости температуры воды на выходе из системы подогрева от массового расхода воды при различных значениях исходной температуры воды бассейна t_1 , t_2 и t_3 (рис.19-а). В ходе исследования было

установлено, что потери тепла в плавательном бассейне, в котором проводился эксперимент, составили $Q_{пот} = 1,94 \text{ кВт}$. Также приводится график зависимости температуры воды на выходе из системы подогрева от массового расхода воды, в ситуации, когда температура воды, выходящей из бассейна и входящей в систему подогрева для компенсации теплопотерь и поддержания установленной температуры в бассейне, составляет $28 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис.19-б).

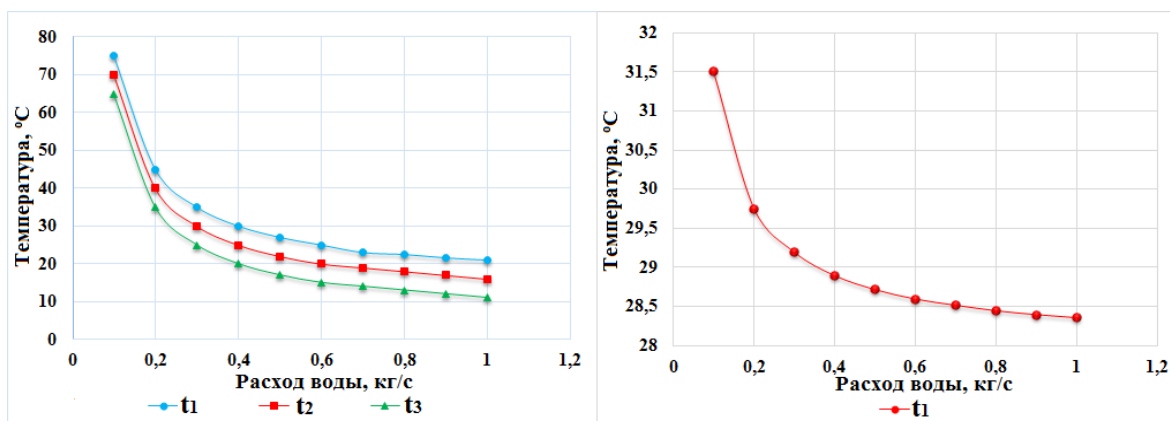


Рис.19. График зависимости температуры воды на выходе из системы подогрева от расхода воды для подогрева воды бассейна до установленной температуры

На основе результатов исследования предлагаемой системы подогрева было установлено, что для подогрева воды бассейна до требуемой температуры оптимальным является расход воды бассейна $0,2-0,4 \text{ кг/с}$, а для поддержания температуры уже подогретой до необходимого значения воды на том же уровне расход воды должен составлять в пределах $0,1-0,2 \text{ кг/с}$.

В целях определения эффективности работы теплового насоса в комбинированной установке с солнечным прудом и тепловым насосом была создана экспериментальная установка “парокомпрессорный тепловой насос” (ПКТН) (рис.20) и исследованы ее теплоэнергетические параметры.



Рис.20. Общий вид экспериментальной установки теплового насоса

Экспериментальная установка состоит из вертикального стенда (1), на котором установлены 4 манометра для измерения давления и 6 термометров

для измерения температуры. Блок теплового насоса представляет собой закрытую герметичную систему и включает в себя компрессор (2), два теплообменника из медных трубок, то есть испарителя (3), конденсатор (4), фильтр-осушитель (5), манометры для измерения давления (6), термометры для измерения температуры (7), медные трубки (8), а также автоматические выключатели-предохранители (9).

В ходе эксперимента было определено количество потребляемой компрессором электроэнергии:

$$N_{\text{комп}} = I \cdot U \cdot \tau \quad (25)$$

Также был произведен расчет тепловой энергии, расходуемой в конденсаторе теплового насоса для нагрева воды.

$$Q_{\text{кон}} = c \cdot m(t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}) \quad (26)$$

Эффективность работы теплового насоса в режиме подогрева (коэффициент трансформации) была определена путем соотношения тепловой мощности теплового насоса и мощности компрессора:

$$\varphi = \frac{Q_{\text{кон}}}{N_{\text{комп}}} \quad (27)$$

Эксперименты проводились при различных значениях исходной температуры воды в конденсаторе 5°C, 10°C, 15°C и 20°C. На основе результатов измерений были определены коэффициенты эффективности работы теплового насоса (коэффициенты трансформации) установки парокомпрессорного теплового насоса для каждого из экспериментальных процессов (рис.21).

В ходе исследований коэффициент трансформации парокомпрессорного теплового насоса достиг высокого показателя при температуре воды в испарителе 20°C, и было научно обосновано, что его значение составляет $\varphi = 4$.

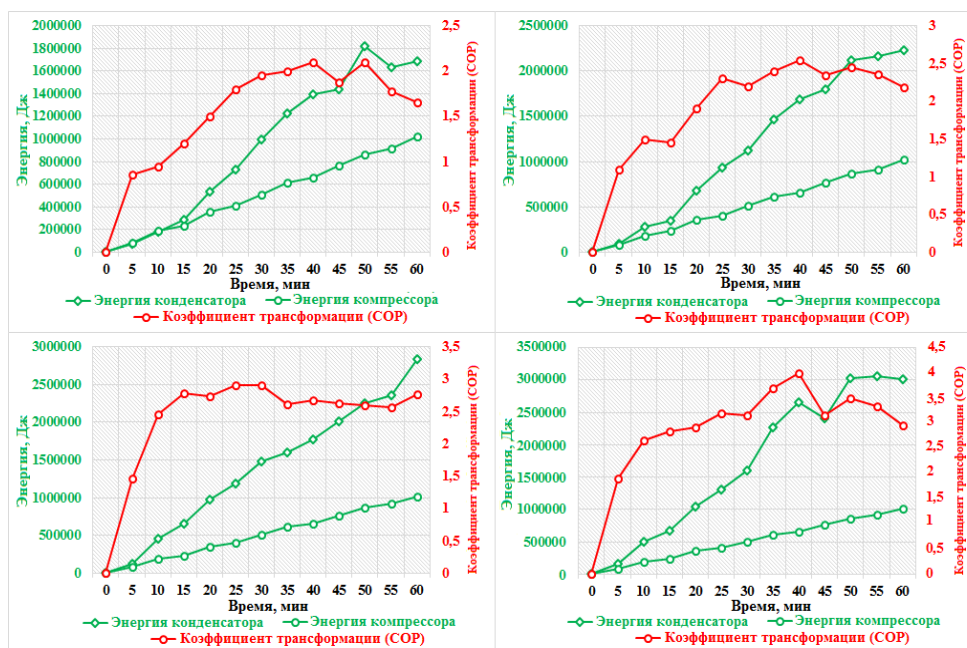


Рис.21. Энергетические характеристики экспериментальной установки ПКТН

В четвертой главе диссертации, озаглавленной «**Оценка энергетической и технико-экономической эффективности применения системы с солнечным прудом и тепловым насосом для подогрева воды в плавательных бассейнах**», содержатся расчеты энергетической и технико-экономической эффективности установки. Определена энергетическая эффективность комбинированной системы подогрева с солнечным прудом и тепловым насосом типового крытого плавательного бассейна с полезным объемом 158,4 м³. Как известно, альтернативные варианты сопоставимых систем отопления плавательных бассейнов отличаются друг от друга объемом капитальных затрат и затрат на эксплуатацию. В ходе исследования был проведен сравнительный анализ теплотехнических параметров и энергоэффективности рекомендуемой в рамках данной диссертационной работы системы подогрева с солнечным прудом и тепловым насосом, а также систем подогрева с использованием газового котла и электрической энергии.

По результатам анализа установлено, что годовой объем энергопотребления, необходимого для подогрева бассейна при помощи комбинированной системы подогрева с солнечным прудом и тепловым насосом, составляет 35707 кВт, при помощи системы электроподогрева – 150345 кВт, а для подогрева в течение года бассейна посредством системы отопления с газовым котлом требуется 20347 м³ природного газа.

При использовании предлагаемой системы подогрева объем предотвращаемых выбросов в атмосферу газа CO₂, который выделяется при сжигании природного газа, составляет 37,6 тонны.

Показатели экономической эффективности, достигнутые в результате внедрения в плавательном бассейне в городе Карши системы на основе установки «солнечный пруд» и теплового насоса, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Показатели экономической эффективности системы на основе установки “солнечный пруд” и теплового насоса

№	Технико-экономические параметры	Количество
1	Балансовая стоимость системы (млн. сум)	396,0
2	Ключевая ставка банка, 2024 год	14%
3	Средний уровень инфляции, 2024 год	9%
4	Общая прибыль за один год, млн.сум	135,0
5	Годовые эксплуатационные расходы, млн.сум	13,96
6	Затраты на электроэнергию в течение года, млн.сум	32,0
7	Общие затраты в течение одного года, млн.сум	45,96
8	Срок работы, год	20
8	Чистая приведенная стоимость, (NPV) млн.сум	753.0
9	Внутренняя норма доходности, (IRR) %	17%
10	Индекс доходности, (PI>1)	2,9
11	Статический срок окупаемости, год	4,45
12	Динамический срок окупаемости, год	5,10

ВЫВОДЫ

На основе результатов исследований, проведенных для решения задач, поставленных в диссертационной работе, были предложены следующие выводы:

1. На основе научно-технического анализа систем отопления современных плавательных бассейнов разработана технологическая схема комбинированной гелиотермической системы подогрева воды плавательного бассейна с солнечным прудом и тепловым насосом, обоснованы параметры ее теплового баланса.

2. В целях обеспечения плавательных бассейнов возобновляемой тепловой энергией создан лабораторный образец низкопотенциальной установки «солнечный пруд» и исследован ее температурный режим.

3. При помощи программного обеспечения MATLAB/Simulink и COMSOL Multiphysics разработана математическая модель теплового баланса установки «солнечный пруд» в статическом и динамическом состоянии, а также получены графики, отражающие изменение во времени температуры каждой зоны солнечного пруда в стационарном и динамическом режимах.

4. Путем математического моделирования теплового баланса крытого плавательного бассейна в стабильном температурном режиме определены основные источники потерь тепловой энергии. Анализ результатов исследования позволил установить, что 4-5% потерь тепловой энергии происходят в результате конвективного теплообмена, еще 40-45% - из-за испарения воды, 15-20% - в связи с излучением, 10-15% - через грунт и 10-15% при долипании в бассейн свежей воды.

5. В процессе исследования получены эмпирические уравнения зависимости температуры воды на выходе из комбинированной системы подогрева с солнечным прудом и тепловым насосом от массового расхода воды при различных температурах воды в бассейне. В соответствии с ними было установлено, что оптимальное значение расхода воды при подогреве воды в бассейне до требуемой температуры составляет 0,2-0,4 кг/с, а для поддержания уже подогретой до требуемой температуры воды бассейна на необходимом уровне расход воды меняется в промежутке 0,1-0,2 кг/с.

6. Для определения эффективности работы теплового насоса в комбинированной системе подогрева воды плавательного бассейна с солнечным прудом и тепловым насосом были проведены исследования на экспериментальной установке парокомпрессорного теплового насоса. По результатам экспериментальных исследований было определено, что при температуре воды солнечного пруда в конденсаторе 5°C, 10°C, 15°C и 20°C значения коэффициента трансформации составляют соответственно $\varphi=2,1$, $\varphi=2,55$, $\varphi=2,91$ и $\varphi=4$ при 20 °C.

7. Подогрев плавательного бассейна с полезным объемом 158,4 м³ при помощи комбинированной установки с солнечным прудом и тепловым

насосом позволяет в течение отопительного сезона экономить 114638 кВт-часов электроэнергии по сравнению с плавательными бассейнами с традиционной электрической системой отопления, а по сравнению с системой отопления с газовым котлом в год достигается экономия 20347 м³ природного газа и предотвращаются выбросы в атмосферу 37,6 тонн углекислого газа.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.09.2020.T.111.03 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT
KARSHI STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

KARSHI STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ELMURODOV NURIDDIN SAYITMURODOVICH

**DEVELOPMENT OF A HELIOTHERMAL WATER HEATING SYSTEM
IN SWIMMING POOLS**

05.05.06 – Power plants on the basis of renewable energy

**ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) DISSERTATION
IN TECHNICAL SCIENCES**

KARSHI – 2025

Theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2024.2.PhD/T4701.

Dissertation has been prepared at Karshi State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the scientific council (www.kstu.uz) and on Information and education portal "Ziyoumet" (www.ziyoumet.uz).

Scientific supervisor:	Uzakov Gulom Nurboevich doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	Akhatov Jasurdjon Saitovich doctor of technical sciences, s.r. Toirov Zuvur candidate of technical sciences, docent
Leading organization:	Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering

The defense of PhD dissertation will take place 23 "08" 2025 at 15⁰⁰ at the meeting of the Scientific Council PhD.03/30.09.2020.T.111.03 at Karshi state Technical University. (Address: 180100, Uzbekistan, Karshi city, Mustakillik street, 225. Conference hall of the Karshi State Technical University. Phone: (+99875) 224-02-89; Fax: (+99875) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz).

The PhD thesis can be founded at the Information-resource Center of Karshi State Technical University (registered with number 147). Address: 180100, Uzbekistan, Karshi city, Mustakillik street, 225. Karshi State Technical University. Phone: (+99875) 224-02-89; Fax: (+99875) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz).

Abstract of dissertation sent on "07" 08 2025 year.
(Register of the distribution protocol on "32" 07.08 2025 year).



B. Urishev
Chairman of the Scientific council on awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor.

X.A. Davlonov
Scientific secretary of scientific council for awarding Scientific degrees, doctor technical sciences, docent

B.E. Xayriddinov
Chairman of scientific Seminar under the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor.

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the research is the development of a swimming pool water heating system based on solar pond and heat pump technologies and the substantiation of its thermal and energy parameters.

The objectives of the research are:

development of a combined solar pond–heat pump heating system scheme for swimming pool water heating;

modeling and calculation of the thermal balance of the solar pond unit;

investigation of the temperature regime and thermal balance of swimming pools equipped with a combined solar pond–heat pump heating system;

substantiation of the thermal-technical parameters of the combined solar pond–heat pump heating system;

determination of the energy efficiency and techno-economic performance indicators of the combined solar pond–heat pump unit.

The object of the study is a combined solar pond–heat pump water heating system for swimming pools.

The scientific novelty of the research is as follows:

for the first time, a heliothermal water heating system for swimming pools has been developed (FAP No. 2504) based on the combined use of a solar pond and a heat pump, enabling the simultaneous utilization of solar radiation energy, the accumulated heat of the solar pond, and the heat rejected by the condenser of the heat pump;

a low-potential solar pond unit has been designed, which accumulates solar radiation energy incident on the water surface, converts it into thermal energy, and is improved with flat solar reflectors;

a mathematical model of the solar pond based on heat balance equations has been developed, allowing calculation of its thermal regime depending on solar radiation, ambient temperature, solution concentration, and the design and geometrical dimensions of the pond;

empirical correlations have been derived, making it possible to determine the dependence of the outlet water temperature of the combined heating system for swimming pools on the variation of water flow rate, based on the energy balance equations of the heating system, taking into account the energy consumption required for pool water heating and heat losses.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained from the development of a heliothermal water heating system for swimming pools:

A utility model patent (FAP No. 2504; 2023) was granted by the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan for the heating system of a swimming pool complex. As a result, a combined solar pond–heat pump heating system was developed, operating on the principle of accumulating solar energy in the solar pond unit for heating the swimming pool water.

The combined solar pond–heat pump heating system, designed to heat pool water using solar energy, was implemented at the swimming pool of the Specialized Youth Sports School for Water Sports in Karshi city (according to

Information Letter No. 06/12108 dated November 18, 2024, issued by the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan).

As a result of heating the swimming pool using the combined solar pond–heat pump system, an annual saving of 114,638 kWh of electric energy during the heating season was achieved compared to conventional electric heating systems for swimming pools. Compared to a traditional natural gas boiler heating system, 20,347 m³ of natural gas was saved, and the emission of 37.6 tons of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere was prevented.

Approbation of the research results. The research results were approved at 8 scientific and practical conferences, including 4 international and 6 republican conferences.

Publication of the research results. A total of 24 scientific works have been published on the topic of the dissertation, including scientific articles published in 2 international and 6 republican journals recommended for publication by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan on the main scientific results of doctoral dissertations, 1 patent for a utility model (FAP 2504) of the Intellectual Property Center of the Republic of Uzbekistan, and 2 copyright certificates for computer software products have been obtained.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 120 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo'lim (I часть; I part)

1. Uzoqov G'.N., Elmurodov N.S., Xujakulov S.M. Suzish basseynining suvini qizdirish tizimi // Foydali model patenti № FAP2504, 2023.
2. Uzoqov G'.N., Elmurodov N.S., Davlonov X.A. O'zbekiston janubidagi iqlim sharoitida quyosh hovuzining harorat rejimini eksperimental o'rganish // Innovatsion texnologiyalar. – 2022. – №1. – 97–102 betlar. (05.00.00; №38).
3. Uzoqov G'.N., Elmurodov N.S., and Axmedov N.N. Suzish basseynlarining energiya balansi tahlili // Innovatsion texnologiyalar. –2022. –№3. – 21–27 betlar. (05.00.00; №38).
4. Elmurodov N.S., Davlonov X.A. Yassi reflektorli quyosh hovuzining samaradorligini tadqiq qilish // Innovatsion texnologiyalar. – 2023. –№4. – 37–45 betlar. (05.00.00; №38).
5. Uzoqov G'.N., Elmurodov N.S. Bug' kompressorli issiqlik nasosining issiqlik-energetik parametrlarini tadqiq qilish // Innovatsion texnologiyalar. – 2024. –№2. – 37–46 betlar. (05.00.00; №38).
6. Elmurodov N.S., Kodirov I.N.. Quyosh hovuzi qurilmasining nobarqaror harorat rejimini matematik modellashtirish // Energiya va resurs tejash muammolari. – 2024. –№4. – 279–286 betlar. (05.00.00; №21).
7. Elmurodov N.S., Uzoqov G'.N., Ergashev Sh.H. Kombinatsiyalashgan quyosh hovuzli-issiqlik nasosli qurilma asosidagi suzish basseynlarining issiqlik balansini eksperimental tadqiq qilish // Farg'ona politexnika instituti ilmiy-texnika jo'rnali. – 2024. – №3. – 100–108 betlar. (05.00.00; №20).
8. Elmurodov N., Maxamov X., Gulboeva D. Researching the energy balance of swimming pools //Western European Journal of Modern Experiments and Scientific Methods. – 2025. – T. 3. – №. 05. – C. 34-40.
9. Nuriddin Elmurodov et al. Calculation of thermal efficiency of the upper convective zone of a solar pond device // International Journal of Science and Research Archive. – 2025. – № 15(02). – pp. 1398-1404. <https://doi.org/10.30574/ijjsra.2025.15.2.1586>

II bo'lim (II часть; II part)

10. Uzoqov G'.N., Elmurodov N.S., Davlonov X.A. Suzish basseynlarining energiya balansini hisoblash dasturi // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 19941. (08.11.2022).
11. Uzoqov G'.N., Elmurodov N.S., Davlonov X.A. Quyosh hovuzi qurilmasining energiya balansini hisoblash dasturi // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma №DGU 29409. (06.11.2023).
12. Elmurodov N.S. Tilavov Yu.S. Моделирование тепловых процессов конденсатора теплового насоса, установленного в бассейни // Течнические науки: проблемы и решения. Сборник статей по материалам XCIV

международной научно-практической конференции. Москва – 2025. – №3(88). – 42–52 с.

13. Uzakov G.N., Elmurodov N.S., Davlonov X.A. Experimental study of the temperature regime of the solar pond in the climatic conditions of the south of Uzbekistan // V International Scientific and Practical Conference “Earth and Environmental Science” – Dushanbe, 2022. – 1070(012026).

14. Elmurodov N. S. et al. Investigating the effect of different salts on the thermal efficiency of a solar pond device // VI International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection. 2023. – 392(02038).

15. Uzakov G. et al. Mathematical modeling the heat balance of a solar pond device // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment – Moscow, 2023. – 71(02023).

16. Elmurodov N. S. et al. Mathematical modeling of unsteady temperature regime of solar pond device // VII International Conference on Actual Problems of the Energy Complex and Environmental Protection 023. – 524(02016).

17. Elmurodov N. S. et al. Modeling thermal-technical parameters of a solar pond using COMSOL multiphysics // Innovative Technologies for Environmental Science and Energetics. 2024-583(04004).

18. Uzoqov G.N., Elmurodov N.S., Raxmanqulov A.A. Past haroratli manba asosidagi “suv-suvli” issiqlik nasosining energiya samaradorligini tadqiq qilish //Muqobil energetika. – 2024. – №1(12). – 62–69 betlar.

19. Elmurodov N.S., Davlonov X.A., Toshboyev A.R. NaCl, MgCl₂ va KCl tuzlarining fizik-kimyoviy xususiyatlari va ularni quyosh hovuzi qurilmasi issiqlik samaradorligiga ta’sirini tadqiqot qilish //Muqobil energetika. – 2023. – №1(08). – 52– 59 betlar.

20. Elmurodov N.S., Davlonov X.A. Yopiq suzish basseynlari issiqlik ta’minotida qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishning zamonaviy holati tahlili // Muqobil energetika. – 2021. – №2(02). – 84–89 betlar.

21. Elmurodov N.S. an’anaviy isitish tizimlari asosida suzish basseynlarini isitish usullari // Ishlab chiqarish texnik muhandislik va texnologik muammolarning innovatsion yechimlari. (JizPI, 28-29 oktabr). – Jizzax, 2022. – 658–661 betlar.

22. Elmurodov N.S. Quyosh hovuzi qurilmasining yuqori konvektiv zonasi issiqlik samaradorligini hisoblash // Iqtisodiyotni raqamlashtirish sharoitlarida energetikaning dolzarb muammolari. (BuxMTI, 24-26 noyabr) – Buxoro, 2022. – 213–218 betlar.

23. Elmurodov N.S. Suzish basseynlarida suvni geliotermik usulda qizdirish uchun kombinatsiyalashgan quyosh hovuzli-issiqlik nasosli sxemani ishlab chiqish // O‘zbekistonning innovatsion taraqqiyotida yoshlarning o‘rni. (QarMII, 15-16-may). – Qarshi, 2023. – 11–14 betlar.

24. Elmurodov N.S. Kombinatsiyalashgan qizdirish tizimli suzish basseynining energiya balansini tadqiqot qilish // Avtomatlashtirish tizimlari va yashil energetika muammolari: ishlab chiqarishda, fan va ta’limda. (TIQXMMI, 18-19 oktabr) –Qarshi, 2024. – 234–237 betlar.

Avtoreferat “INNOVATSION TEXNOLOGIYALAR” ilmiy-texnik
jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilgan va uning o‘zbek, rus, ingliz
(rezyume) tillaridagi matnlari mosligi tekshirilgan

Bosmaga ruxsat etildi: 05.07.2025-yil
Bichimi 60x45 $\frac{1}{8}$, «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,0 Adadi: 80. Buyurtma: № 62
QarDTU bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Qarshi shahri, Mustaqillik shox ko‘chasi, 225–uy.